



Universidade Técnica de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



Cinética do Consumo de Oxigénio em corredores de meio-fundo

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre
em **Treino Desportivo**

Orientador: Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Júri:

Presidente:

Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Vogais:

Professora Doutora Joana Filipa de Jesus Reis

Professora Doutora Veronika Elisabeth Vleck

Mestre Bernardo Gonçalves Manuel

Carlos Daniel da Silva Rita Fradão

2013

AGRADECIMENTOS

Realizar um trabalho com estas características é sempre o resultado de um longo percurso, durante o qual se vão somando importantes contributos de várias pessoas que, acabam por fazer parte de um esforço colectivo. Neste sentido, gostaria de agradecer:

Primeiramente às pessoas que me apoiaram e incentivaram a avançar para o Mestrado de Treino Desportivo.

Ao meu orientador Professor Doutor Francisco Alves, pela competência científica e acompanhamento crítico do trabalho. Agradeço-lhe a paciência que teve ao longo deste ano e meio, mostrando sempre tranquilidade e incentivando-me quando as coisas não corriam bem. Agradeço-lhe sobretudo a confiança que depositou em mim.

À Professora Doutora Joana Reis e ao Doutorando Tiago Almeida, pela colaboração no processo de modelação das curvas de consumo de oxigénio, e disponibilidade demonstrada.

Ao Professor Sandro Freitas, pela sua tranquilidade, amizade e apoio durante todo este processo.

Ao Professor Carlos Silva pela disponibilidade demonstrada, competência, amizade e palavras de incentivo.

Ao Rui Gonçalves, por ter sido um grande mentor, ter sempre acreditado em mim, e me ter ensinado a nunca baixar os braços.

À Cristina Lopes, pela excelente revisão dos textos, mas também pela sua amizade e apoio nos momentos decisivos.

À Dra Filipa Gomes, por me ouvir, por me ajudar a resolver questões que foram aparecendo ao longo deste processo.

A todos os atletas que fizeram parte da amostra que serviu de base à presente tese, e que tiveram todo o empenho e esforço para que este estudo fosse realmente de qualidade.

A todos que directa ou indirectamente, contribuíram de forma positiva para a realização deste estudo.

À minha irmã Sandra pelo apoio incondicional, estando presente dia a dia, vivendo todos os meus dramas e expectativas.

À Katarina Teittinen por acreditar em mim e por estar presente todos os dias, mesmo estando longe.

Aos meus pais pelo que abdicaram, mas sobretudo pelo esforço que fizeram e pelo exemplo que são.

A todos, muito obrigado do fundo do meu coração, por fazerem parte da minha vida. Cada um, da sua forma, contribui para eu estar onde estou agora.

Muito obrigado!

RESUMO

O presente estudo teve como objectivo descrever as componentes da cinética do consumo de oxigénio (VO_2) em corredores de meio-fundo, verificando a sua relação com o desempenho competitivo e outros parâmetros do desempenho aeróbio.

Oito corredores bem treinados (5 homens e 3 mulheres) realizaram um teste progressivo para determinação dos parâmetros aeróbios do desempenho - $\text{VO}_{2\text{max}}$, limiares ventilatórios (L_{v1} e L_{v2}) e velocidades associadas, assim como a velocidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$), seguido, em dia diferente, de uma prova a velocidade constante até à exaustão, à $v\text{VO}_{2\text{max}}$, para modelação exponencial da curva de VO_2 , de modo a calcular a constante temporal da fase primária (τ_1). Determinaram-se também o tempo de exercício até alcançar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($t\text{VO}_{2\text{max}}$) e o tempo limite no $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$).

Os valores de τ_1 obtidos foram de $25,50 \pm 7,59$ segundos para os homens e $23,89 \pm 8,77$ segundos para as mulheres. Para a amostra masculina explorou-se a associação não-paramétrica dos indicadores de cinética, assim como dos restantes parâmetros avaliados, não se tendo encontrado qualquer associação significativa.

Estes resultados sugerem que a cinética do VO_2 numa prova máxima não tem associação com o desempenho num grupo homogéneo de atletas de alto nível de treino.

Palavras – Chave: Cinética, limiar ventilatório, constante temporal, corrida, consumo de oxigénio, desempenho, competição, meio-fundo

ABSTRACT

The present study aims to describe the components of the oxygen kinetics consumption (VO_2) in middle distance runners, by checking their relationship with performance in competition and other parameters of endurance performance.

Eight well-trained runners (5 men and 3 women) performed an incremental test to determine parameters of aerobic performance - $\text{VO}_{2\text{max}}$, ventilatory threshold (L_{v1} and L_{v2}) and associated velocities, as well as the velocity at $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$). On a different day the runners did a test at constant speed until exhaustion to $v\text{VO}_{2\text{max}}$ for modeling VO_2 exponential curve in order to calculate the time constant of the primary phase (τ_{p1}). We also determined the time to reach $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($t\text{VO}_{2\text{max}}$) and time limit in $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$).

The τ_p values obtained were $25,50 \pm 7,59$ seconds for male and $23,89 \pm 8,77$ seconds for women. For the male sample we explored the nonparametric associations between the kinetics indicators, as well as other parameters involved.

The data analysis showed no significant association between those indicators. Therefore, we can conclude that the results suggest that the kinetics of $\text{VO}_{2\text{max}}$ in a maximal test has no association with performance in a homogenous group of elite athletes training.

Key Words: VO_2 kinetics, ventilatory threshold, time constant, running, oxygen consumption, performance, competition, middle-distance

ABREVIATURAS

a-VO₂ – Diferença arterio-venosa de Oxigénio

A₁ – Amplitude da fase primária

A₂ – Amplitude da componente lenta

A'₂ – Amplitude relevante da componente lenta

A_p – Amplitude

ATP- Adenosina trifosfato

CaO₂ -Concentração do oxigénio arterial

Can – Capacidade Anaeróbia

CL – Componente Lenta

CO₂ – Dióxido de Carbono

CP – Fosfocreatina

D – Distância calculada no teste à velocidade constante

EEML - Estado estacionário máximo de lactato

FeO₂ – Fracção expirada de Oxigénio

FeCO₂ - Fracção expirada de Dióxido de Carbono

H⁺ - Iões de Hidrogénio

LAn – Limiar Anaeróbio

LL – Limiar Láctico

L_{v1} – 1º Limiar Ventilatório

L_{v1} (% VO_{2max}) – 1º Limiar Ventilatório relativo ao VO_{2max}

L_{v2} – 2º Limiar Ventilatório

L_{v2} (% VO_{2max}) - 2º Limiar Ventilatório relativo ao VO_{2max}

mmol – Milimole

mmol.L⁻¹ Milimole por Litro

O_2 – Oxigénio

PC – Potência Crítica

Q – Débito Cardíaco

t - Tempo

t_e – Tempo final de exercício

τ_{p1} – Constante de tempo da fase primária

τ_{p2} – Constante de tempo da componente lenta

TTE – Tempo total de prova

$t_{VO_{2max}}$ – Tempo em que atinge o VO_{2max}

t_d – Atraso temporal

$T_{lim}VO_{2max}$ - Tempo mantido no VO_{2max}

τ_p – Constante temporal

$v-L_{v1}$ – Velocidade limiar ventilatório 1

$v-L_{v2}$ – Velocidade limiar ventilatorio 2

VO_2 – Consumo de Oxigénio

vVO_{2max} – Velocidade mínima em que é atingido o VO_{2max} no protocolo progressivo

VCO_2 – Consumo de Dióxido de Carbono

V_E – Ventilação

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Estudo	1
1.2. Âmbito do Estudo	2
1.3. Objectivo do Estudo	2
1.4. Hipóteses de Estudo	3
1.5. Pressupostos e Limitações	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Caracterização do Meio-Fundo	5
2.1.1. A prova de 800 metros.....	5
2.1.2. A prova de 1500 metros.....	8
2.2. Parâmetros das respostas fisiológicas ao exercício	10
2.2.1. A bioenergética músculo-esquelética	10
2.2.2. Capacidade Aeróbia	12
2.2.3. Consumo Máximo de Oxigénio.....	12
2.2.4. Limiares Metabólicos	14
2.2.5. A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ como preditor de performance na corrida	16
2.3. Capacidade Anaeróbia	17
2.4. Cinética do Consumo de Oxigénio	18
2.4.1. Componentes	19
2.4.2. Domínios de Intensidade e a Cinética do VO_2	22
2.4.3. Intensidade Moderada.....	22
2.4.4. Intensidade Pesada	23
2.4.5. Intensidade Severa.....	24
2.5. Cinética do VO_2 e a Tolerância ao Exercício	25
2.5.1. Cinética do VO_2 e o Défice de O_2	25
2.5.2. A Influência da Componente Lenta do VO_2	27
2.5.3. A influência da Amplitude Fundamental do VO_2	28
2.5.4. Resposta da Cinética do VO_2 e o Treino de Resistência- alterações temporais	28
2.5.5. Resumo.....	30
3. METODOLOGIA	31
3.1. Introdução	31
3.2. Amostra.....	31
3.3. Instrumentos e Equipamento.....	32

3.4. Procedimento.....	33
3.5. Métodos de Avaliação	33
3.6. Determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$	34
3.6.1. Teste progressivo	34
3.7. Determinação dos Parâmetros da Cinética do VO_2	35
3.7.1. Teste de velocidade constante até à exaustão na $v\text{VO}_{2\text{max}}$	36
3.8. Análise dos Dados	36
3.8.1. Modelação dos VO_2 obtidos no teste de velocidade constante	36
3.8.2. Análise Estatística	38
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	41
4.1. Teste progressivo.....	41
4.2. Teste de velocidade constante até à exaustão na $v\text{VO}_{2\text{max}}$	44
4.3. Resultados – Espoliação Correlacional.....	52
5. DISCUSSÃO.....	57
6. CONCLUSÕES	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valor percentual da contribuição de cada um dos sistemas energéticos na prova de 800 metros	6
Figura 2. Contribuição aeróbia e anaeróbia absoluta para o custo total de oxigénio para as provas de 800m e 1500m (Spencer & Gastin, 2001)	8
Figura 3. Representação Gráfica das 3 fases que caracterizam a resposta do VO_2 (adaptado de Silva & Oliveira, 2004).....	21
Figura 4. Uma resposta típica do VO_2 durante incrementos de intensidade desde o início do exercício. Verifica-se o trabalho realizado em intensidades pesadas e severas num ciclo ergómetro (adaptado de Bailey, 2007).....	25
Figura 5. Efeito de uma cinética do VO_2 sobre a magnitude do défice de O_2 . (Adaptado de Bailey,2010).....	26
Figura 6. Representação gráfica da curva da cinética de oxigénio dos atletas A e B (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado	48
Figura 7. Representação gráfica da curva da cinética do VO_2 dos atletas C e D (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado	49
Figura 8. Representação gráfica da curva da cinética do VO_2 dos atletas E e F (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado	50
Figura 9. Representação gráfica da curva da cinética do VO_2 G e H (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado	51

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Contribuição energética relativa do sistema aeróbio, estimada em diferentes fases nas provas de 800 e 1500 metros (Spencer & Gastin, 2001).....	9
Quadro 2. Características dos atletas masculinos que constituíram a amostra (\bar{x} representa a média e s.d. o desvio padrão, RN- Recorde Nacional, RM- Recorde Mundial).	31
Quadro 3. . Características das atletas femininas que constituíram a amostra (\bar{x} representa a média e s.d. o desvio padrão, RN- Recorde Nacional, RM- Recorde Mundial).	32
Quadro 4. Respostas ventilatórias obtidas e observadas na prova progressiva (atletas masculinos).....	41
Quadro 5. Respostas ventilatórias obtidas e observadas na prova progressiva (atletas femininas)	43
Quadro 6. Variáveis da Cinética do Consumo de Oxigénio obtidos no Teste de velocidade constante até à exaustão na vVO_{2max}	45
Quadro 7. Variáveis da Cinética do Consumo de Oxigénio obtidos no Teste de velocidade constante até à exaustão na vVO_{2max} (atletas femininas)	46
Quadro 8. Matriz da correlação do desempenho competitivo (800 e 1500 m) e distância obtida no teste velocidade constante associado às variáveis $T_{lim}VO_{2max}$, τ_p , vVO_{2max} , $v-L_{v1}$ e $v-L_{v2}$ para um nível de significância p-value <0.05.	53
Quadro 9. Matriz da correlação entre as variáveis τ_p e $T_{lim}VO_{2max}$ com as variáveis fisiológicas, VO_{2max} , $v-L_{v1}$, $v-L_{v2}$, para um nível de significância p-value <0.05.....	54
Quadro 10. Matriz da correlação do TTE, da τ_p , da A_p , do tVO_{2max} o $T_{lim}VO_{2max}$, para um nível de significância p-value <0.05.....	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do Estudo

Em qualquer actividade da vida diária, mas com mais predominância nas actividades físicas desportivas, existe uma gestão do aumento da intensidade do metabolismo para que o organismo se adapte e ajuste, e para que os sistemas energéticos consigam suprir a solicitação energética que está a ser solicitada.

Uma vez que as reservas musculares de oxigénio (O_2), adenosina trifosfato (ATP) e fosfocreatina (CP) são limitadas, o sistema oxidativo (absorção, transporte e utilização de O_2) vai sendo progressivamente activo na tentativa de se atingir um estado estável e retornar à homeostasia celular. Durante essa transição, o aumento da contribuição aeróbia pode ser observado pela elevação no consumo de oxigénio (VO_2) medido ao nível pulmonar.

No contexto desportivo, esta transição energética é bastante frequente e, em algumas modalidades, a resposta inicial de cada indivíduo pode ser determinante para o nível de sucesso alcançado na competição (Ingham et al, 2007; Jones & Burnley, 2009).

Na transição de um exercício sem carga para outro com carga, abaixo do primeiro limiar ventilatório (L_{v1}), a cinética alveolar do VO_2 foi semelhante à cinética do VO_2 da musculatura-esquelética (Grassi, 2001). A partir desse pressuposto, as medidas de captação de oxigénio ao nível pulmonar têm vindo a ser muito utilizadas para descrever as respostas da utilização de oxigénio ao nível muscular em diversas intensidades de exercício (Barstow et al, 1994; Hill & Stevens, 2001; Astrand et al, 2003).

Diversos factores, como a intensidade (Hill & Stevens, 2001), o tipo de exercício (Billat et al, 1999) e o nível de treino (Carter et al, 2000; Koppo et al, 2004; Caputo & Denadai 2004; Kilding et al, 2006; Ingham et al, 2007), parecem influenciar a cinética do VO_2 . Assim sendo, o estudo desta cinética compreende a descrição da resposta dinâmica do consumo de VO_2 após o início do exercício.

Vários estudos demonstraram que existe uma correlação entre a rápida cinética do VO_2 e a reduzida amplitude da componente lenta, com uma melhor condição aeróbia (Powers et al, 1985; Chilibeck et al, 1996) e uma melhor tolerância à fadiga (Bailey et al, 2009).

O tempo da constante da componente primária (τ_p) tem mostrado que está bastante correlacionada com o desempenho nos eventos de meio-fundo e fundo (Burnley & Jones, 2007). O facto de nos eventos de meio-fundo (tempo de exercício compreendido entre 1 e 15 minutos) ser solicitada tanto a via anaeróbia como aeróbia, poderá ter um grande impacto na cinética do VO_2 (Hill, 1999). Tais dados fornecem uma fonte rica em informações sobre a capacidade de um indivíduo para executar o exercício.

Portanto, investigar a ligação entre estes mecanismos fisiológicos e a relação matemática potência-duração, irá aprofundar a compreensão da bioenergética de todo o corpo e os factores de tolerância ao exercício de intensidade elevada em seres humanos.

1.2. Âmbito do Estudo

Este estudo enquadra-se num âmbito de actividade que foca o controlo do treino de atletas de alto rendimento, neste caso corredores de meio-fundo, na perspectiva de avaliar as adaptações de treino e no apoio à prescrição dos exercícios de treino.

1.3. Objectivo do Estudo

Este estudo é o primeiro a fornecer uma descrição completa da cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo em intensidade máxima e analisar a influência de tais parâmetros sobre o desempenho.

Uma vez que a amostra feminina é muito reduzida, apenas a amostra masculina será submetida a uma espoliação correlacional.

1.4. Hipóteses de Estudo

Mediante o objectivo referido anteriormente foram formuladas várias hipóteses para se avaliar se o desempenho competitivo está associado a algumas das variáveis da cinética do VO_2 .

O desempenho competitivo e a distância percorrida no teste máximo estão associados:

Hipótese I: Os dados encontrados enquadram-se nos valores de referência obtidos na literatura em atletas de nível semelhante ao do presente estudo.

Hipótese II: Os parâmetros da cinética do VO_2 estão associados ao desempenho competitivo.

Hipótese III: Os parâmetros da cinética do VO_2 estão associados com os restantes parâmetros do desempenho aeróbio avaliados.

1.5. Pressupostos e Limitações

No presente estudo foi tido em conta algumas limitações que podem ou não influenciar os dados recolhidos e as conclusões finais:

- i) As hipóteses acima descritas não serem aplicadas às atletas do género feminino, uma vez que apenas apresentam uma amostra muito reduzida.
- ii) A falta de tempo e disponibilidade para uma segunda recolha de dados com os atletas do estudo e a sua consequente interpretação e comparação com os resultados da primeira recolha;
- iii) Pode existir uma subestimação da $v\text{VO}_{2\text{max}}$ no protocolo progressivo que irá influenciar os resultados do teste máximo;
- iv) Dificuldade em motivar os atletas para cumprirem o protocolo à $v\text{VO}_{2\text{max}}$ pois a sua motivação para a realização de um protocolo numa passadeira em

andamento não era a melhor (pouca familiarização com o equipamento), o que pode provocar uma falta de empenho e influenciar o tempo final de teste;

- v) A necessidade de manutenção do material utilizado para a recolha dos dados;
- vi) A amostra do estudo ser reduzida;
- vii) A cedência atempada das instalações para se poderem efectuar as recolhas de dados com os atletas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização do Meio-Fundo

No decorrer dos tempos foi difícil distinguir claramente as corridas de meio-fundo e as corridas de longa distância. Como se pode verificar, di Prampero et al. (1993) definiu as corridas de meio-fundo como as distâncias percorridas, compreendidas entre 800 metros e 5000 metros. Daniels e Daniels (1992) definiram o meio-fundo como distâncias compreendidas entre os 800 metros e os 10000 metros. Este estudo define as corridas de meio-fundo como distâncias percorridas, compreendidas entre 800 metros e 3000 metros (Brandon, 1995). No entanto, só os eventos de 800 e 1500 metros são considerados provas olímpicas.

Para que se possa compreender e caracterizar de uma forma mais pormenorizada um evento de meio-fundo há que entender as questões da bioenergética e de como é que os sistemas energéticos interagem entre si. As solicitações energéticas dependem de factores como a intensidade e tempo de duração da tarefa. Ter um conhecimento sobre a bioenergética é uma grande ajuda para que se possa planear melhor as cargas de treino com objectivo de melhorar a produção metabólica de ATP e consequentemente conseguir um melhor desempenho. Nos eventos de meio-fundo existe uma solicitação dos sistemas aeróbios e anaeróbios (Duffield et al, 2005).

2.1.1. A prova de 800 metros

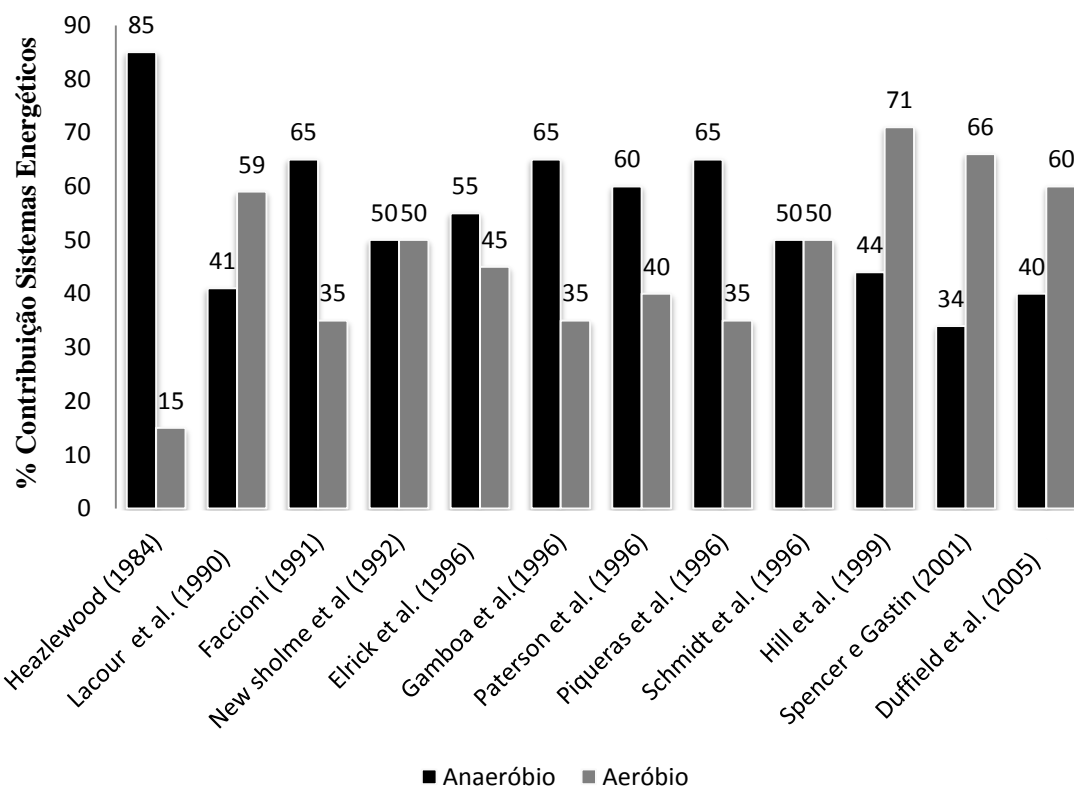
Dependendo do nível em que se encontra o atleta, o evento de 800 metros pode ser caracterizado por um tempo de esforço compreendido entre 1 minuto e 41 segundos e 2 minutos, ou superior. Neste evento existe uma contribuição energética tanto do sistema aeróbio como do anaeróbio, onde estes vão interagir de modo a sustentar altas intensidades da tarefa (Duffield et al, 2005; Billat & Koralsztein, 1996).

Pode observar-se facilmente que os corredores de 800 metros conseguem ter resultados razoáveis tanto nas provas de 400 metros como nas de 1500 metros, e que muitas das

vezes estes progridem nas distâncias de 400 metros para 800 metros e de 800 metros para 1500 metros.

Foram vários os autores que demonstraram através de estudos que não se pode atribuir a predominância de um sistema sobre o outro na prova de 800 metros (Lacour et al, 1990; Weyand et al, 1994; Craig & Morgan, 1998; Hill, 1999; Spencer & Gatin, 2001; Duffield et al, 2005). Resumidamente, em tarefas com a duração compreendida entre 1 e 2 minutos, é difícil definir quando é que um sistema energético se torna mais predominante em relação ao outro.

Figura 1. Valor percentual da contribuição de cada um dos sistemas energéticos na prova de 800 metros



A metodologia instrumental da investigação, bem como as concepções de base subjacentes aos respectivos cálculos podem servir de justificação para as diferenças que se observam na Figura 1.

São diversos os estudos que sugerem que o ponto de mudança da predominância do sistema aeróbio/anaeróbio poderá ocorrer num espaço de tempo compreendido entre os

90 e 120 segundos de esforço (Brooks et al, 2000). Contudo, é importante ressaltar que existem estudos que demonstram que o momento em que existe uma alteração de predominância dos sistemas energéticos ocorre perto dos 30 segundos de esforço, e que progressivamente o sistema aeróbio se torna predominante (Spencer & Gastin, 2001).

A prova de 800 metros tem características diferentes dos primeiros para os segundos 400 metros, sendo bastante provável que seja mais anaeróbia na segunda metade da prova, uma vez que já se encontra com concentrações mais elevadas de lactato, o que leva o atleta a tolerar toda uma segunda parte da competição. Poderá ser este o factor que justifica a diferenças encontradas pelos diversos estudos em relação à contribuição dos sistemas energéticos (Duffield et al, 2005).

Craig e Morgan (1998) demonstraram que numa prova de 800 metros, com uma duração média de 113 segundos ocorre uma contribuição significativa de 66% do sistema aeróbio, sendo este resultado bastante favorável quando comparado com estudos similares que demonstraram uma contribuição aeróbia entre 58-69% para uma tarefa com o tempo de 116-120 segundos (Spencer et al, 1996; Hill, 1999). Num ensaio realizado mais recentemente com corredores de 400 e 800 metros, demonstrou-se que a relação da contribuição do sistema aeróbio e anaeróbio foi de 41-59% nos 400 metros e de 60-40% nos 800 metros, respectivamente, focando o facto de que, quanto maior a duração de um esforço, maior será o contributo aeróbio (Duffield et al, 2005).

Sendo os 800 metros uma corrida de elevada intensidade e com alterações de ritmo levantam-se mais dúvidas quanto à solicitação energética durante a prova. Contudo, o sistema anaeróbio poderá ter um contributo muito importante e decisivo na disputa final de uma corrida de 800 metros.

O conhecimento dos valores percentuais tanto da contribuição do sistema aeróbio como anaeróbio para a prova exacta (e.g., 400m, 800m, 1500m) é de extrema importância para os treinadores, pois ajuda num melhor planeamento das intensidades e cargas de treino, levando a uma adaptação e optimização desses mesmos sistemas energéticos com o objectivo de aumentar o desempenho do atleta (Hill, 1999). Quer isto dizer que deverá haver uma maior consciência de que a variabilidade no recurso de ambos os

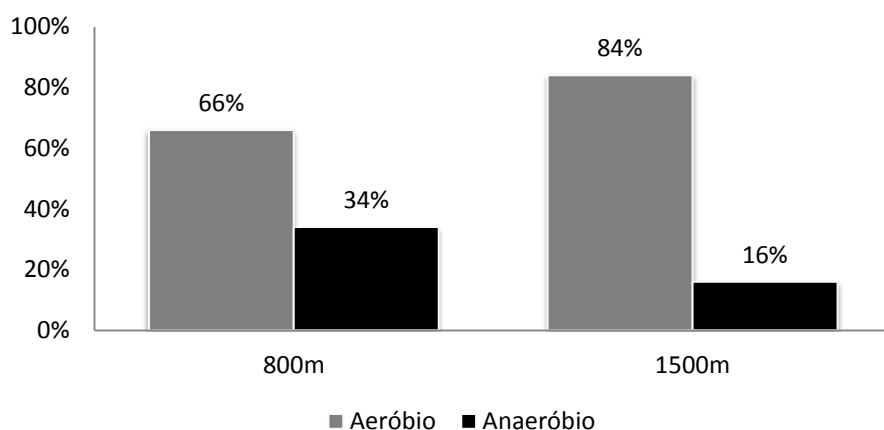
metabolismos pode ser diversificada, de acordo com o planeamento e carga do treino de cada atleta e da forma como este decide abordar a prova de 800 metros.

2.1.2. A prova de 1500 metros

A corrida de 1500 metros é muito importante do ponto de vista fisiológico, uma vez que leva o metabolismo aeróbio à sua máxima potência e o metabolismo anaeróbio à sua máxima capacidade (Billat et al, 2009). Devido a esta razão, é de esperar que os corredores de 1500 metros sejam caracterizados por ter propriedades aeróbias e anaeróbias superiores. No entanto, mesmo que o sistema anaeróbio desempenhe um papel fundamental na optimização do desempenho do meio-fundo, a contribuição do metabolismo aeróbio em tais eventos é superior (cerca de 84% do total; Spencer & Gastin, 2001).

A solicitação energética anaeróbia diminui e consequentemente a contribuição energética aeróbia aumenta devido ao aumento da distância da corrida, esta alta contribuição aeróbia relativa é indirectamente suportada pela forte relação entre determinantes laboratoriais do défice máximo de oxigénio e o tempo do desempenho do atleta (Ramsbottom et al, 1994).

Figura 2. Contribuição aeróbia e anaeróbia absoluta para o custo total de oxigénio para as provas de 800m e 1500m (Spencer & Gastin, 2001)



Estes dados sugerem que o metabolismo aeróbio pode ser altamente um factor de predição do desempenho numa corrida de meio-fundo. Segundo Spencer e Gastin

(2001), para o mesmo tempo de esforço, a contribuição aeróbia é superior na prova de 1500 metros, quando comparada com a de 800 metros.

Quadro 1. Contribuição energética relativa do sistema aeróbio, estimada em diferentes fases nas provas de 800 e 1500 metros (Spencer & Gatin, 2001)

Prova	0-30s	30-60s	60-90s	90-120s	120-150s	150-180s
800 m	41%	73%	76%	76%		
1500 m	57%	84%	87%	88%	89%	89%

No entanto, embora a pesquisa tenha mostrado que o sucesso em provas de resistência está relacionado com o consumo máximo de oxigénio, ou seja, pelo VO_{2max} (Foster et al, 1978), este parâmetro por si só não pode explicar a performance na corrida em atletas com alcance limitado do VO_{2max} e/ou semelhantes níveis de resistência (Noakes, 1988).

É evidente que a prestação anaeróbia não parece relacionar-se com o sucesso nas provas de 1500 metros (Almarwaey et al, 2003), o que justifica a uma maior utilização do sistema aeróbio.

Mais recentemente, uma forte correlação entre o desempenho nos 1500 metros e outras variáveis “aeróbias”, tais como a economia de corrida, o VO_{2max} (Weston et al, 2000; Saunders et al, 2004; Ingham et al, 2008) e o tempo limite (T_{lim}) ao VO_{2max} (Billat et al, 1996) foram relatadas. Além disso muitos estudos concordam que a velocidade associada ao aumento do VO_{2max} (vVO_{2max}) parece ser o melhor preditor de execução sucesso na competição de 1500 metros (Lacour et al, 1990; Billat et al, 1996; Hanon et al, 2008).

Embora tenham sido estudados muitos factores associados ao consumo de oxigénio (e.g., a economia de corrida e o VO_{2max}), a elite das corridas de 1500 metros realiza um tempo de prova compreendido entre 3,5 a 4 minutos. Isto sugere que os atletas com cinética rápida de VO_2 sejam capazes de alcançar o VO_{2max} num curto espaço de tempo, terão um pequeno défice de O_2 , e irão acumular menos lactato e outros metabolitos associadas ao processo de fadiga, e devem, portanto, ter uma melhor tolerância do exercício (Jones et al, 2008).

Além disso, devido à média/alta intensidade durante uma corrida de 1500 metros, é provável o aparecimento da componente lenta de VO_2 , o que representa uma eficiência muscular reduzida sendo este um índice do processo de fadiga (Zoladz et al, 2008; Jones et al, 2011). Assim, pode supor-se que um melhor desempenho numa prova de 1500 metros estará associado a uma menor componente lenta.

2.2. Parâmetros das respostas fisiológicas ao exercício

2.2.1. A bioenergética músculo-esquelética

São vários os factores fisiológicos que levam ao sucesso do desempenho desportivo. Eventos de longa distância dependem principalmente do consumo máximo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{max}}$), a utilização fraccionada de $\text{VO}_{2\text{max}}$, e economia de corrida (Morgan et al, 1989; di Prampero et al, 1986; Brandon, 1995; Fernhall et al, 1996; Weston, 2000). Factores como o acúmulo de lactato e o tipo de fibra músculo-esquelética têm influência no desempenho de exercícios de resistência (Morgan et al, 1989; Brandon, 1995).

Desempenhos em provas de curta distância (60 a 400 metros) têm sido correlacionados com uma alta capacidade anaeróbia e com a máxima velocidade do movimento. Já os eventos de distância média estão relacionados tanto com alta capacidade anaeróbia como aeróbia (Brandon, 1995).

A actividade muscular contínua requer constantemente o fornecimento de ATP. Segundo Brooks (2000), Spencer e Gustin (2001), Powers e Howley (2004), Wilmore e Costill (2004), as células musculares são capazes de produzir energia de três formas:

- i) A formação de ATP (anaeróbia) a partir da quebra da fosfocreatina (CP);
- ii) A glicólise (a formação anaeróbia de ATP a partir da glucose ou de glicogénio);
- iii) A fosforilação oxidativa (formação aeróbia de ATP).

Tendo em consideração estas três vias de produção de energia, a solicitação energética necessária para que haja contracção da musculatura locomotora são atendidas, por meio da libertação de energia armazenada na molécula de adenosina trifosfato (ATP). No entanto a concentração de ATP intramuscular na estrutura músculo-esquelética humana

é limitada e entra em exaustão num espaço de segundos após a contracção muscular (Jones, 2008). Após o início do exercício, e de forma a evitar uma queda abrupta das concentrações de ATP, existe de imediato uma contínua ressíntese de ATP (Astrand et al, 2003; Wilmore, Costil & Kenney, 2008).

No início do exercício existe uma sincronia entre o aumento imediato de ATP muscular, onde se verifica uma queda instantânea dos níveis de concentração de fosfocreatina (CP). Esta reacção fornece a energia química necessária para a ressíntese de ATP nos primeiros 10 segundos de exercício intenso. Durante este período, a degradação dos metabolitos de ATP e CP leva a um estímulo de activação do segundo sistema de energia, denominada glicólise anaeróbia. Esta via metaboliza a glicose em lactato e iões de hidrogénio (H^+) com um ganho de 2 moléculas de ATP por cada molécula de glicose.

Existem duas limitações associadas à glicólise:

- i) A não produção de grandes quantidades de ATP por parte do sistema;
- ii) Aumento na acumulação de lactato no sangue e músculo derivado desta sequência metabólica.

De acordo com Westerbald et al. (2002) e Wilmore e Costil (2004), o aumento de lactato prejudica as enzimas glicolíticas, inibindo a sua subdivisão e causando fadiga.

Os sistemas ATP-CP e glicolítico podem fornecer energia para eventos com duração de até dois minutos (Wilmore & Costill, 2004). Tendo em conta que demora cerca de dois minutos até que o consumo de oxigénio chegue ao estado estacionário, em eventos de corridas que levam menos de dois minutos (e.g., 800 metros) serão concluídas antes de o metabolismo oxidativo poder envolver-se a cem por cento (Spencer & Gastin, 2001; Jones, 2008).

O sistema aeróbio, por outro lado, pode usar ambos hidratos de carbono e gordura, como substratos metabólicos. Segundo Brooks (2000) e Wilmore e Costil (2004), isto é importante, uma vez que:

- i) O catabolismo aeróbio de uma molécula de glicose gera um total de 38 moléculas de ATP;
- ii) As gorduras são energeticamente muito mais ricas do que os hidratos de carbono.

Além disso, os subprodutos do metabolismo aeróbio (concentrações de água e de dióxido de carbono) são bem regulados, o que limita a perturbação metabólica associada com esta via de energia.

2.2.2. Capacidade Aeróbia

O consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), o limiar láctico (LL), o limiar anaeróbio (LAn), e a velocidade mínima correspondente ao VO_{2max} (vVO_{2max}), são variáveis fisiológicas que são comumente usadas para determinar o desempenho do atleta (Berg, 2003).

2.2.3. Consumo Máximo de Oxigénio

No início do exercício, o oxigénio captado da atmosfera para os músculos activos aumenta em resposta à produção de ATP nos tecidos.

O consumo de oxigénio (VO_2) pelos tecidos é descrito na equação de Fick, que diz:

$$VO_2 = Q \times (a-v) O_2$$

Onde Q representa o débito cardíaco, e $(a-v) O_2$, representa a diferença do teor de O_2 entre o sangue arterial e venoso, o que representa a quantidade de oxigénio extraído do sangue arterial e que é utilizado no processo de fosforilação oxidativa pela mitocôndria (Wilmore, Costil & Kenney, 2008).

O consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}) é definido como sendo o máximo oxigénio que pode ser utilizado pelo exercício intenso (Bassett & Howley, 2000), sendo que este é um factor determinante no desempenho desportivo, nomeadamente na corrida

(Ramsbottom et al, 1987), pois estabelece o limite de energia que pode ser produzido em condições aeróbias (Evans et al, 1995). A sua validade como preditor de desempenho é comprovada por diferentes autores, que demonstram a existência de uma forte correlação entre o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e o tempo ou distância de corrida, (Fox et al, 1991; Weineck, 1991, 1999; McArdle, Katch & Katch, 1998; Powers & Howley, 2000; Withers et al, 2000).

De acordo com Jones e Poole (2005), a medição do $\text{VO}_{2\text{max}}$ pode fornecer informações importantes sobre a capacidade pulmonar, o sistema cardiovascular e o neuromuscular na realização de exercícios. Na investigação realizada por Day et al (2003), o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é definido como sendo o valor máximo atingido no decorrer de um exercício progressivo até à exaustão, mas nem sempre, caracterizada por incapacidade de aumentar a taxa de trabalho.

No entanto, existem factores centrais que podem limitar a taxa de consumo de oxigénio (Basset & Howley, 2000), sendo estes:

- i) O débito cardíaco máximo;
- ii) O sangue ter a capacidade para transportar o oxigénio.

São vários os critérios utilizados para avaliar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ quando este for atingido. Um grande número de investigadores tomou como válido o atingir do $\text{VO}_{2\text{max}}$, quando pelo menos dois dos seguintes critérios foram alcançados (Brisswalter et al, 1996; Gibson et al, 1999; Maldonado-Martin et al, 2004):

- i) A frequência cardíaca manter-se dentro de 10 batidas da idade prevista para a frequência cardíaca máxima;
- ii) O rácio da trocas respiratórias ser maior que 1,0;
- iii) A estabilização dos valores do VO_2 variar menos de $2 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ quando existe um aumento da carga;
- iv) A concentração de lactato no sangue ser maior que 10 mmol/l ;
- v) O atleta estar exausto.

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ está altamente correlacionado com as corridas de longa duração, no entanto não é o único parâmetro fisiológico relacionado com o óptimo desempenho na corrida. A economia da corrida e a utilização fraccionada de oxigénio também são determinantes primários para que haja um óptimo desempenho na corrida.

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ explica a performance nas corridas de resistência e apresenta altos coeficientes de correlação para a relação com o tempo, velocidade e distância de corrida (Astrand et al, 2006).

Dado que a medição directa do VO_2 muscular é instrumentalmente desafiante e invasiva para o sujeito, a determinação do VO_2 por “*breath by breath*” é o normalmente usada para determinar o consumo de oxigénio, proporcionando uma medida bastante aproximada ao metabolismo muscular (Behnke et al., 2005; Whipp et al, 2005).

2.2.4. Limiares Metabólicos

Indivíduos dotados com a possibilidade de obter uma maior absorção de oxigénio precisam de se complementar com um programa de treino rigoroso no sentido de atingirem o desempenho máximo. Para atletas de eventos de resistência também deve desenvolver-se a capacidade de sustentar uma alta fracção de utilização do seu consumo máximo de oxigénio ($\%\text{VO}_{2\text{max}}$) de forma a tornarem-se fisiologicamente mais eficientes no exercício (Maughan & Leiper, 1983; Saunders et al, 2004; Ferri et al, 2012).

O conceito limiar láctico foi introduzido a fim de definir o ponto ou o momento em que a acidose metabólica, bem como as alterações associadas na troca gasosa nos pulmões, ocorre durante o exercício progressivo (Wassermann et al, 1973; Powers et al, 1984 Ahmaidi et al, 1993; Whipp, 1994).

Para explicá-lo de outra forma, durante o exercício progressivo, com uma determinada intensidade, há um aumento não linear acentuado na ventilação, conhecido como o 1º limiar ventilatório (Hollmann, 2001), um aumento não linear na concentração de lactato sanguíneo, conhecido como limiar láctico (Hollmann, 2001), um aumento não linear da

produção de CO_2 , um aumento na corrente de oxigénio final (Wassermann et al, 1973; Powers et al, 1984; Ahmaidi et al, 1993).

Todos estes pontos são colectivamente rotulados como Limiar Láctico (LL). Constatase que o 1º limiar ventilatório está directamente relacionado e é também causado pelo limiar láctico sanguíneo (Wassermann et al, 1973; Powers et al, 1984; Beaver et al, 1986; Ahmaidi et al, 1993; Whipp, 1994).

Mais importante ainda, é a existência de um segundo limiar ventilatório (L_{v2}), este foi encontrado para separar os domínios de intensidade de exercício, “pesado” e “muito pesado”. O L_{v2} está associado a um ponto de compensação respiratória (PCR) para a acidose metabólica contínua (Dekerle et al, 2003). Estes mecanismos fornecem uma estrutura fisiológica à avaliação da capacidade humana de tolerar o exercício em diversas intensidades e, portanto, é um guia para a prescrição de exercícios de resistência (Goldberg et al, 1988; Boulay et al, 1997; Dekerle et al, 2003; Meyer et al, 2005).

A $v-L_{v1}$ (velocidade associada ao 1º limiar ventilatório) foi identificada no ponto a partir do qual, a relação VE/VO_2 aumenta continuamente, acompanhada por um aumento na fracção expirada de oxigénio (FeO_2) (Wasserman et al, 1967; Skinner & McLellan, 1980; Caiozzo et al, 1982; Kara et al, 1999).

A $v-L_{v2}$ (velocidade associada ao 2º limiar ventilatório) foi identificada no ponto a partir do qual, a relação VE/VCO_2 aumentava continuamente, acompanhada por uma queda na fracção expirada de dióxido de carbono (FeCO_2) (Skinner & McLellan, 1980; Pires et al, 2002).

Withers et al (1981) observaram que os indivíduos com semelhante $\text{VO}_{2\text{max}}$ têm variabilidade na capacidade de resistência e que os atletas altamente treinados conseguem executar uma tarefa com uma percentagem elevada do seu $\text{VO}_{2\text{max}}$ com acúmulos de lactato mínimos.

Além disso, os atletas treinados acumulam menos lactato do que atletas não treinados numa determinada carga de trabalho submáximo. Este conceito levou à consideração do

limiar láctico como determinante da aptidão fisiológica. O aparecimento de lactato no sangue durante o exercício é a consequência de um aumento da glicogenólise, e é importante reconhecer que a sua concentração é, em qualquer momento, o resultado de um equilíbrio entre a taxa de produção e remoção (Hartmann & Mader, 1994; Beneke et al, 1996; Brooks et al, 2000).

No entanto, durante o aumento da intensidade do exercício, o aumento da concentração de lactato no sangue é uma indicação do aumento do metabolismo anaeróbio. Este aumento na concentração de lactato no sangue tem sido interpretado como um reflexo do início da hipoxia em músculos-esqueléticos e a intensidade do exercício em que o metabolismo anaeróbio complementa a regeneração do ATP pelo metabolismo aeróbio tem sido chamado de limiar láctico.

É importante lembrar que o lactato em si não causa fadiga e é efectivamente utilizado como um combustível dentro do metabolismo aeróbio, onde pode ser oxidado directamente ou convertido em piruvato, ou glicose, para a oxidação (Philip et al, 2005). Já os iões de lactato parecem ter um efeito protector que ajuda a preservar a produção de força, em vez de a diminuir (Nielsen et al, 2001).

2.2.5. A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ como preditor de performance na corrida

A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ é a velocidade mínima para a qual o consumo máximo de oxigénio ou $\text{VO}_{2\text{max}}$ ocorre. A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ é normalmente avaliada através de um teste de exercício progressivo. O teste envolve a medição do consumo de oxigénio através de uma série de etapas progressivas até ao ponto em que o consumo de oxigénio não aumenta mais. A velocidade mínima que permite atingir o consumo de oxigénio máximo é considerado o $v\text{VO}_{2\text{max}}$.

Foi demonstrado que a $v\text{VO}_{2\text{max}}$ pode ser altamente preditiva no desempenho do exercício de resistência e pode ser utilizada para fornecer informação útil para atletas que competem sobre eventos de meia e longa distância (Morgan et al, 1989; Noakes et al, 1990; Billat & Koralsztein, 1996; Billat et al, 2003; McLaughlin et al, 2010).

Numa pesquisa realizada, quando foi feita a observação das características fisiológicas de um grupo de homens e mulheres corredores de longa distância do Quênia descobriu-se que a vVO_{2max} foi o melhor preditor do desempenho na corrida de 10km (McLaughlin et al, 2010). Na verdade ele é considerado o melhor preditor de desempenho de resistência, uma vez que integra tanto a capacidade aeróbia (VO_{2max}) e eficiência em execução (Morgan et al, 1989;McLaughlin et al, 2010).

A vVO_{2max} pode ser usada para explicar as diferenças de desempenho na corrida, entre dois atletas com VO_{2max} igual ou economia de corrida semelhante. Se dois atletas têm os mesmos valores de VO_{2max} ou têm uma economia semelhante de movimento, o atleta com o maior vVO_{2max} estará a correr a uma velocidade maior para qualquer determinada percentagem do seu VO_{2max} . Enquanto não houver uma diminuição na $\%VO_{2max}$ tolerável, qualquer melhora no vVO_{2max} se traduzirá num melhor desempenho ao longo da corrida.

2.3. Capacidade Anaeróbia

Na execução de um exercício de alta intensidade, a quantidade total de energia que é transferida pelo metabolismo anaeróbio considera-se como sendo a capacidade anaeróbia (CAN) (Gastin, 1994). Estudos evidenciaram que, ainda que a quantidade de ATP re-sintetizada anaerobiamente seja limitada, a quantidade de CP utilizada durante o esforço intenso não é reduzida substancialmente a partir dos 120 segundos (Medbo & Tabata, 1993).

A estimativa da CAN e das vias energéticas aláctica e láctica é de difícil realização devido à dificuldade que se tem em mensurar os marcadores fisiológicos que melhor as representem.

Uma série de testes para quantificar a capacidade anaeróbia têm sido explorados (Green & Dawson, 1993).

Estes testes incluem, entre outros:

- i) O débito de oxigénio (a quantidade de oxigénio consumida durante a recuperação), após o exercício;
- ii) Os níveis de lactato sanguíneo;
- iii) O défice de oxigénio;
- iv) A degradação do ATP do músculo.

2.4. Cinética do Consumo de Oxigénio

Faz um século que os fisiologistas do exercício têm dedicado a sua atenção para a dinâmica da resposta VO_2 após o início do exercício (Krogh & Lindhard, 1913; Hill et al, 1924). Mesmo sem um analisador de gases respiratórios, os primeiros pesquisadores determinaram a natureza exponencial da resposta VO_2 em exercício de moderada e alta intensidade. Mais tarde, no mesmo século, a recolha de informação por um analisador de gases respiratórios permitiu uma recolha mais eficaz de dados, e a aplicação matemática modelar permitiu uma determinação mais precisa da cinética do consumo de oxigénio.

Estes autores demonstraram que, no momento inicial de exercícios predominantemente aeróbios, ocorre aumento da transição do O_2 da atmosfera para os grupos musculares activos com o objectivo principal de atender a necessidade energética desses tecidos. Hill e Lupton (1923) chegaram a sugerir que a resposta reflecte um processo em que o ácido láctico é oxidado antes e depois do exercício, sendo atingido o estado estacionário quando a quantidade de ácido láctico produzida for equilibrada.

Compreender a cinética do consumo de oxigénio é fundamental para a metodologia de treino e sucesso competitivo no desporto (Saltin et al, 1995a,b; Martin & Coe, 1997; Bangsbo et al, 2000; Billat, 2001a,b; Noakes, 2003; Astrand et al, 2003) e também para conhecer um pouco mais sobre a saúde cardiovascular (Wasserman et al, 1999).

O interesse em observar esse fenómeno por meio da sua resposta temporal deve-se à tentativa de compreender os factores intracelulares que regulam a activação do sistema oxidativo (Haseler et al, 1999; Rossiter et al, 2002), e a possibilidade de utilizá-lo como

indicativo do metabolismo anaeróbio (Medbo et al, 1988) e as possíveis alterações do sistema oxidativo induzidas pelo treino físico (Hagberg et al, 1978) ou aos ajustes dos sistemas bioenergéticos em virtude da idade cronológica (Xu & Rhodes, 1999; Fawcner & Armstrong, 2003).

A capacidade de lidar com esta transição de repouso para exercício ou um aumento da intensidade do exercício envolve uma elevada coordenação entre o sistema cardiovascular, respiratório e neuromuscular, a fim de transportar o oxigénio às mitocôndrias das células musculares, levando à produção de energia em regime aeróbio (Whipp, 2005).

Em desportos cíclicos, como a corrida, após o início da competição, as alterações na taxa metabólica são bastante grandes e rápidas, o que leva o sistema de ventilação a responder de forma precisa e rápida para evitar variações significativas no sangue arterial e manter a regulação do pH (Whipp & Ward, 1992).

Quando avaliada, a cinética do VO_2 pulmonar apresenta três fases distintas após o início dos exercícios de intensidade moderada: a fase I, onde ocorre uma resposta de fase inicial de, aproximadamente, 19 segundos, levando conseqüentemente a um aumento do fluxo sanguíneo pulmonar; a fase II, onde o O_2 aumenta com uma dinâmica de resposta exponencial, e a fase III, onde se verifica o estado de equilíbrio ou estado estacionário (Whipp et al, 1982).

2.4.1. Componentes

Fase I – Componente Cardiodinâmica

Na sequência de um pequeno atraso, após o início do exercício, o consumo O_2 aumenta exponencialmente. Este aumento inicial é referido como a fase I ou a fase cardiodinâmica e é geralmente observada nos primeiros 15 a 25 segundos após uma mudança na intensidade (Whipp & Ozyener, 1998). Esta fase é pensada para ser predominantemente uma função de alterações no débito cardíaco com pequenas alterações no conteúdo venoso misto de O_2 .

Pensa-se que o aumento inicial da absorção do VO_2 seja causado por um aumento do débito cardíaco (Wasserman et al, 1974). O aumento do retorno venoso associado com o início de exercício, também aumenta o débito cardíaco como uma da lei de Frank-Starling. No fundo, esta lei, estabelece que o coração, dentro de limites fisiológicos, é capaz de ejectar todo o volume de sangue que recebe proveniente do retorno venoso.

Como resultado da bomba muscular, o volume de sangue no final da diástole, ou o volume diastólico final, aumenta significativamente. Antes da contracção, um aumento de volume irá causar o alongamento do miocárdio ventricular devido a um fenómeno conhecido como pré-carga. O alongamento das células do miocárdio resulta numa maior afinidade da troponina para o cálcio levando a um aumento na força de contração ventricular e aumento do volume sistólico. De acordo com a lei de Frank-Starling, um aumento no volume diastólico final, ou da pré-carga, resulta num aumento do volume sistólico. O efeito combinado de ambos os músculos da bomba e a lei de Frank-Starling pode assim explicar a sobrecompensação do volume sistólico no início do exercício (Faisal et al, 2009).

O aumento inicial do retorno venoso do VO_2 é, em parte, um resultado do mecanismo conhecido como “bomba muscular”. O sangue que retorna, devido à “bomba muscular”, pode afectar a cinética de fase I. O aumento do débito cardíaco leva a pensar que existe um aumento posterior no fluxo sanguíneo pulmonar que se reflectiu no VO_2 (Krogh & Lindhard, 1913; Linnarsson, 1974; Whipp, 1987).

De uma maneira geral pensa-se que não existe uma alteração na diferença arterio-venosa de oxigénio (a-v) O_2 , mas vários estudos de Casaburi et al (1989, 1992) e de Cerretelli et al (1977) indicam o contrário.

Contudo, a cinética da fase I resulta predominantemente de fenómenos estruturais, e não necessariamente reflexo do consumo de O_2 muscular. Uma rápida cinética da fase I indicaria um aumento do débito cardíaco e do fluxo sanguíneo sistémico, mas não necessariamente, um aumento do consumo de O_2 localizado.

Por conseguinte, a fase cardiodinâmica foi considerada como uma parte do tempo e não um padrão de resposta (Whipp et al, 1995).

Fase II - Componente Primária

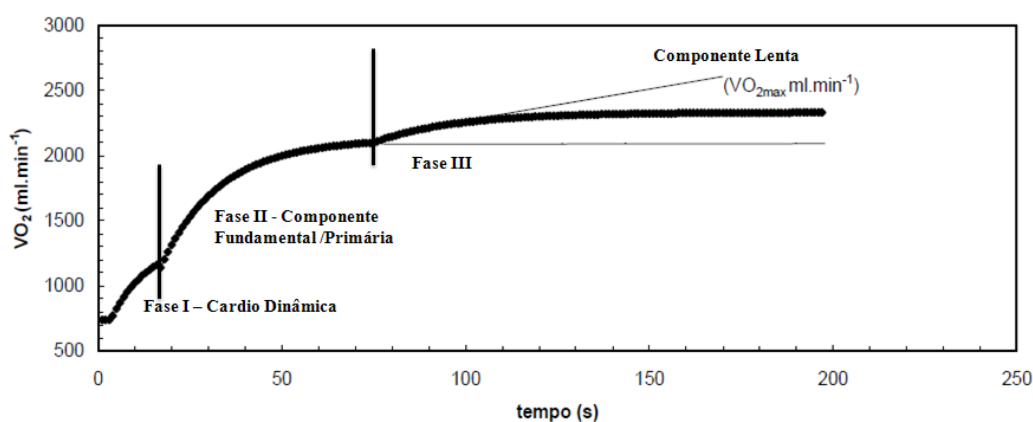
A componente primária é caracterizada por um rápido aumento exponencial no VO_2 que o dirige para o valor actual ou previsto no estado estacionário (Whipp et al, 1982; Hughson & Morrissey, 1983; McCreary et al, 1996; Whipp & Rossiter, 2005).

Na verdade, durante esta fase, o VO_2 aumenta a um nível (amplitude) que é principalmente determinada pela intensidade imposta do ritmo de trabalho (Wilkerson et al, 2004), mas também é influenciada por padrões de activação do músculo (Burnley et al, 2002). A "velocidade", ou seja, a constante temporal (τ_p) na qual a resposta atinge o "alvo" parece estar directamente relacionada com o nível de resistência do indivíduo (Cerretelli et al, 1979), e talvez sensíveis às mudanças no transporte de O_2 para o trabalho muscular (Hughson, 2005).

Fase III – Estado Estável ou Componente Lenta

A fase III (ver Figura 3) ou componente lenta (CL) refere-se ao possível estado estável do O_2 e costuma ser atingido após o terceiro minuto do início do exercício. Segundo Whipp (1994), esta fase é descrita como sendo uma característica de um sistema fisiológico, em que suas exigências funcionais estão sendo atendidas de modo a que a sua produção por unidade de tempo se torne constante.

Figura 3. Representação Gráfica das 3 fases que caracterizam a resposta do VO_2 (adaptado de Silva & Oliveira, 2004)



No entanto, um valor constante atingido pelo sistema não é suficiente para determinar que um sistema está num estado de equilíbrio (Whipp & Wasserman, 1972; Barstow &

Molé, 1991). A cinética resultante nesta fase é muitas vezes baseada no facto do exercício estar abaixo ou acima do limiar láctico (exercício moderado ou pesado, respectivamente).

Note-se que alguns autores escolheram outros limites para a determinação de exercício moderado e forte, no entanto, variáveis, como o limiar ventilatório, continuam a estar relacionadas com o limiar láctico (Hughson, 2009).

2.4.2. Domínios de Intensidade e a Cinética do VO₂

Como referido anteriormente, o metabolismo e as respostas das trocas gasosas à capacidade de trabalho em exercício, podem ser definidos em relação a um certo número de domínios de intensidade de exercício identificáveis como sendo: moderado, pesado, severo (Gaesser & Poole, 1996; Xu & Rhodes, 1999).

Comumente, os marcadores de domínios de intensidade compreendem o limiar ventilatório (moderado/pesado), a potência crítica (PC) e o estado estacionário máximo de lactato (pesado/severo), e o consumo máximo de oxigénio (severo/máximo), o que induz a diferentes respostas metabólicas e ventilatórias durante o trabalho a realizar. (Whipp et al, 1999; Burnley & Jones, 2007).

2.4.3. Intensidade Moderada

O exercício de intensidade moderada abrange todos os trabalhos abaixo do limiar láctico. O trabalho físico dentro deste domínio induz a pouca ou nenhuma alteração no estado ácido-base. No entanto, após a transição para uma maior taxa metabólica, o aumento da glicólise anaeróbia pode provocar uma subida inicial de concentração de lactato no sangue, que rapidamente se estabiliza perto dos níveis de repouso, com um valor de aproximadamente 1 mmol/l (Jones & Poole, 2005).

Após a Fase I, e durante um período compreendido entre 20 a 35 segundos, existe um rápido aumento mono - exponencial da cinética (isto é, a fase II) para atingir um estado estacionário em 2-3 minutos em indivíduos saudáveis (Whipp & Wasserman, 1972;

Whipp & Ward, 1992; Wilkerson et al, 2004). No estado estacionário, o O_2 necessário para manter o exercício pode ser acompanhado através do fornecimento de O_2 proveniente da atmosfera. A quebra do glicogénio bem como a análise de trocas gasosas mostram o que se poderá passar no músculo (Grassi et al, 1996.).

Estas medições podem ser utilizadas para quantificar a contribuição relativa dos metabolismos aeróbios e anaeróbios (Whipp & Wasserman, 1986), e para estimar a taxa de utilização de hidratos de carbono e gorduras durante o exercício (Peronnet et al, 1991).

No exercício moderado, o "ganho" funcional da amplitude fundamental é geralmente constante (10 ml.min / w) em ciclos ergómetros (Barstow & Molé, 1991; Paterson & Whipp, 1991; Mallory et al, 2002), mas na corrida parece haver uma tendência para esse "ganho" diminuir, mesmo dentro de exercício moderado (Carter et al, 2002).

Após obtenção do estado estacionário, a taxa de ressíntese de ATP dentro dos miócitos contrácteis está em equilíbrio com a taxa de ressíntese de ATP a partir de fosforilação oxidativa. Consequentemente, não existe qualquer aumento significativo nas concentrações de lactato, e como tal, o exercício moderado pode ser tolerado durante várias horas.

2.4.4. Intensidade Pesada

O limiar láctico demarca o limite inferior do domínio pesado e o limite superior é definido pelo estado estacionário máximo de lactato (EEML), que parece coincidir com a assíntota da potência da relação potência-duração. Mais uma vez, após a Fase I, o VO_2 aumenta de forma exponencial (Fase II) para atingir uma amplitude que é largamente dependente do requisito de energia externa (Paterson & Whipp, 1991; Hill et al, 2003; Wilkerson et al, 2004).

Em contraste com o exercício moderado, aparece uma terceira componente da resposta VO_2 , com um atraso no início e com um tempo de curso mais lento. Esta solicitação adicional de O_2 no exercício faz com que o VO_2 aumente acima do que era o "esperado" estado estável (Whipp & Mahler, 1980). Esta fase foi denominada de "componente

lenta" do VO_2 (Fase III), e representa uma solicitação energética adicional com uma origem que reside predominantemente no trabalho muscular (Poole et al, 1991; Gaesser & Poole, 1996; Rossiter et al, 2002).

Apesar de um aumento na exigência metabólica, o exercício constante de intensidade pesada provoca uma elevada, mas estável concentração de lactato sanguíneo ao longo do tempo, o que está intimamente relacionado com o aumento do VO_2 (Roston et al, 1987). O limite superior deste domínio coincide com o EEML, definido como intensidades de exercício que provocam uma concentração de lactato no sangue estável até, aproximadamente 4 mmol/l (Pringle & Jones, 2002).

Como resultado do aumento do esforço cardiovascular e das mudanças no estado ácido-base, relata-se que o esforço é superior ao do exercício moderado (Katch et al, 1978). No entanto, e de acordo com MacDougall et al (1974), dentro do domínio pesado, um estado estacionário pode ser alcançado, e por isso, o exercício pode ser mantido durante um considerável, mas finito, período de tempo (menos de 3 a 4 horas).

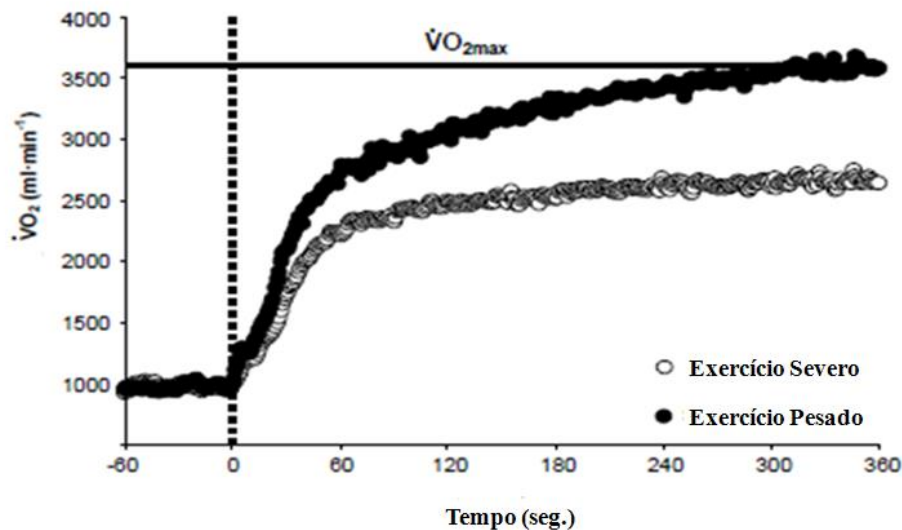
2.4.5. Intensidade Severa

Durante um exercício que ocorra acima da potência crítica (PC), mas abaixo do $\text{VO}_{2\text{max}}$, com o prolongamento do exercício, o aumento da concentração de lactato e o declínio do pH sanguíneo não se estabilizam. Conforme se verifica na Figura 4, o VO_2 também sobe inevitavelmente até o consumo máximo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{max}}$) ser atingido, ocorrendo a exaustão (Whipp & Wasserman, 1972; Wasserman & Whipp, 1975; Poole et al, 1988; Gaesser & Poole, 1996; Ozyener et al, 2001).

No exercício constante de intensidade severa, não há uma única taxa de trabalho que provoque o $\text{VO}_{2\text{max}}$. Se a duração do exercício permite, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é sempre atingido e a fadiga ocorre pouco depois (Poole et al, 1988).

O perfil da resposta do VO_2 é semelhante à do exercício de intensidade pesada, incluindo a resposta de três fases. A principal diferença é que o estado estável do VO_2 correspondente à duração do $\text{VO}_{2\text{max}}$, é sustentável por um período de tempo mais curto, sendo este inferior a 20 minutos (Poole et al, 1988).

Figura 4. Uma resposta típica do $\dot{V}O_2$ durante incrementos de intensidade desde o início do exercício. Verifica-se o trabalho realizado em intensidades pesadas e severas num ciclo ergómetro (adaptado de Bailey, 2007)



2.5. Cinética do $\dot{V}O_2$ e a Tolerância ao Exercício

São escassas as investigações que existem sobre a capacidade da cinética do $\dot{V}O_2$ influenciar diretamente a tolerância ao exercício são escassas. Esta secção da revisão da literatura irá descrever as actuais evidências de investigação que fizeram uma ligação entre a cinética do $\dot{V}O_2$ e a tolerância ao exercício, e irá destacar as intervenções que têm, ou que se esperam ter, no que se refere à cinética do $\dot{V}O_2$ e da sua relação com a tolerância ao exercício.

2.5.1. Cinética do $\dot{V}O_2$ e o Déficit de O_2

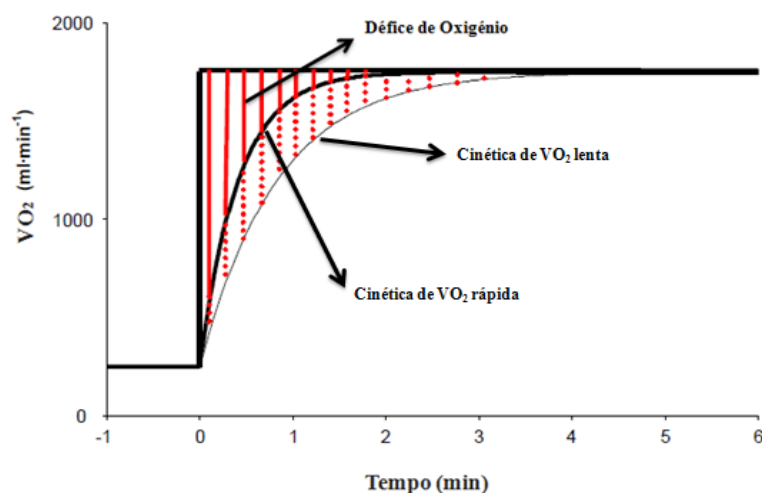
O déficit de oxigénio é indicativo do grau do nível do substrato fosforilizado que faz tamponamento do fornecimento de ATP mitocondrial durante mudanças abruptas na taxa de trabalho (Bailey et al, 2009; Jones et al, 2003).

Considerando que a taxa de “turnover” de ATP presumivelmente aumenta de forma instantânea no início do exercício, o VO_2 aumenta com a dinâmica de resposta exponencial (Whipp & Wasserman, 1972; Whipp & Mahler, 1980; Whipp et al, 1982).

O termo déficit de oxigênio aplica-se ao atraso da captação de oxigênio no início do exercício. (Krogh & Lindhard, 1913; Figura 5). A fim de satisfazer a exigência de energia da contração muscular, a energia equivalente do déficit de O_2 deve ser compensada através de um aumento da taxa de ATP através de degradação da CP e glicólise anaeróbia, com uma pequena contribuição das reservas de O_2 muscular.

Reduzindo assim a magnitude do déficit O_2 , ao acelerar a cinética do VO_2 (Figura 5), pode reduzir o nível da CP e utilização de glicogênio bem como a acumulação de metabólitos relacionados com a fadiga. Por sua vez, esta reduzida perturbação metabólica seria esperada para melhorar a tolerância à duração do exercício (Burnley & Jones, 2007; Jones & Burnley, 2009).

Figura 5. Efeito de uma cinética do VO_2 sobre a magnitude do déficit de O_2 . (Adaptado de Bailey, 2010)



Uma cinética do VO_2 mais rápida pode ser particularmente benéfica durante o exercício severo, onde a exaustão segue logo após ser atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$. Na verdade, uma rápida cinética do VO_2 pode atrasar o ponto em que os substratos anaeróbios e a fadiga induzem os metabólitos a chegar a níveis “críticos” após atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$.

Da mesma forma, aumentando a taxa inicial de VO_2 irá ocorrer um aumento proporcional na contribuição energética proveniente da fosforilação oxidativa durante o exercício extremo. A redução associada na perturbação metabólica pode permitir que o exercício seja prolongado, possibilitando que o VO_2 possa continuar a aumentar até ao $\text{VO}_{2\text{max}}$, de tal forma que o rendimento total de energia oxidativa aumente também.

É claro que a cinética do VO_2 é mais rápida em atletas de elite comparados a atletas de clubes de nível (Jones & Koppo, 2005; Ingham et al, 2007), ou em atletas moderadamente treinados em comparação com indivíduos não treinados (Koppo et al, 2004) e que a cinética do VO_2 é retardada com o envelhecimento (Barstow & Scheuerman, 2005) e em vários estados de doença (Poole et al, 2005).

Estes estudos demonstraram que a aptidão física melhorada é acompanhada por uma cinética do VO_2 mais rápida, enquanto que, o envelhecimento e os indivíduos com patologias, são acompanhados por uma diminuição da velocidade da cinética do VO_2 e uma redução acentuada da tolerância ao exercício.

Colectivamente, esses estudos suportam a noção de que a τ_p (constante temporal, que corresponde ao tempo necessário para atingir 63% da amplitude final) para a cinética do VO_2 é um factor determinante da tolerância ao exercício. No entanto, um estudo mais recente, de Grassi et al (2011) argumenta que a τ_p não é uma determinante directa, mas um marcador de tolerância ao exercício, pelo menos, durante o exercício de intensidade moderada. Isso apoia a ideia de que a cinética do VO_2 deve interagir com outros parâmetros fisiológicos para determinar a tolerância ao exercício (Burnley & Jones, 2007).

2.5.2. A Influência da Componente Lenta do VO_2

A importância da componente lenta do VO_2 na determinação da duração da tolerância ao exercício foi estabelecida por David Poole e seus colegas, em 1988. Observou-se que, quando o exercício foi realizado na potência crítica (PC), a componente lenta do VO_2 estabilizou a um VO_2 submáximo e todos os indivíduos completaram a duração proposta do exercício de 24 minutos. Por sua vez, quando a taxa de trabalho imposta foi

de 5% acima da PC, a componente lenta do VO_2 que foi desenvolvida no decorrer do tempo atingiu o $\text{VO}_{2\text{max}}$ de tal modo que a duração tolerável ao exercício foi reduzida para, aproximadamente, 18 minutos (Poole et al, 1988).

Outros estudos têm demonstrado que a componente lenta do VO_2 é acompanhada por uma diminuição proporcional das concentrações de CP no músculo (Rossiter et al, 2002) e numa maior utilização de glicogénio (Krustrup et al, 2004).

Além disso, a componente lenta do VO_2 tem implicações importantes para a tolerância ao exercício, determinando se, e quando, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ será atingido, e sobre a velocidade do total da cinética do VO_2 (Burnley & Jones, 2007; Jones & Burnley, 2009).

2.5.3. A influência da Amplitude Fundamental do VO_2

Outro componente importante da dinâmica do VO_2 , e que tem implicações para a tolerância ao exercício grave, é a amplitude fundamental do VO_2 . Dado que a componente lenta do VO_2 é limitada pelo $\text{VO}_{2\text{max}}$ durante o exercício intenso (Whipp & Wasserman, 1972; Poole et al, 1988), o aumento da amplitude fundamental do VO_2 faria reduzir a proporção da resposta global do VO_2 comandado pela componente lenta do VO_2 , desde que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é inalterado. Por outro lado, se a proporção de resposta do VO_2 é aumentada, a cinética do VO_2 será mais rápida, resultante de um aumento da contribuição energética da fosforilação oxidativa e uma correspondente redução do défice de O_2 . Um aumento na amplitude fundamental de VO_2 tem, portanto, claras implicações para a tolerância ao exercício severo.

2.5.4. Resposta da Cinética do VO_2 e o Treino de Resistência- alterações temporais

O treino de resistência induz adaptações vastas dos sistemas cardiorrespiratório e neuromuscular, permitindo melhorar o fornecimento de oxigénio da atmosfera para a mitocôndria, e possibilitando uma maior regulação do metabolismo muscular. Estas adaptações permitem que o sujeito sustente a mesma intensidade ou para que atinja intensidades mais elevadas (Jones & Carter, 2000; Bailey et al, 2009).

Está bem estabelecido que o treino de resistência promove um aumento no consumo máximo de oxigénio (Gaesser et al, 1984.), do limiar láctico (Norris & Petersen, 1998) e da potência crítica (Maclaren & Coulson, 1999; Alves & Reis, 2006).

São vários os estudos que demonstram a influência do treino no estado da cinética de VO_2 , quer seja por uma abordagem metodológica transversal ou longitudinal. Verificou-se que, após duas (Womack et al, 1995), seis (Casaburi et al, 1995), sete (Poole et al, 1990) e oito semanas de treino de resistência (Casaburi et al, 1987; Belman & Gaesser, 1991; Casaburi et al, 1995), existiu uma redução na resposta submáxima do VO_2 quando aplicado num exercício de intensidade pesada. A divergência em relação às alterações que o treino induz na componente lenta do VO_2 pode ser explicada pela intensidade do exercício (pré-treino), escolhida para provocar a resposta VO_2 submáximo.

Por outras palavras, parece ser mais fácil observar a redução da componente lenta do VO_2 , quando a magnitude da componente lenta de pré-treino é grande (Gaesser, 1994). Além disso, a magnitude da mudança ao longo do período de treino pode ser diferente, dependendo do facto de a intensidade do treino ser mantida ou ajustada como adaptações cardiopulmonares constantes (Womack et al, 1995). Um estudo mais recente demonstrou que as transições de intensidade moderada, após dois dias de treino, apresentavam uma diminuição de 17-20% na constante temporal após o intervalo de treino moderado ou de alta de intensidade (Mackay et al, 2009).

Embora o actual tipo de treino (intensidade, volume e duração) que optimiza as melhorias na cinética do VO_2 não estar ainda claramente definido, é quase consensual que o treino induz um aumento de velocidade da cinética do VO_2 inicial e / ou uma componente lenta de reduzida magnitude, em pessoas treinadas (Norris & Peterson, 1998; Demarle et al, 2001) ou em pessoas não treinadas (Philips et al, 1995; Daussin et al, 2008; Bailey et al, 2009).

Foram comparados corredores de meio-fundo e fundo bem treinados nas transições de intensidade moderada, sendo que estes últimos apresentaram uma cinética mais rápida do que os corredores de meio-fundo. Apesar da semelhança do $\text{VO}_{2\text{max}}$ e do limiar ventilatório (L_v) entre os grupos, a constante de tempo foi inversamente correlacionada

com o volume de treino, tanto nos especialistas de meio-fundo como nos de fundo (Kilding et al, 2006, 2007). Estes dois resultados confirmam estudos anteriores que sugeriam que a constante de tempo é mais sensível ao treino do que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e L_v (Norris & Petersen, 1998).

Quer isto dizer que, quanto mais rápido for o aumento da taxa de metabolismo oxidativo (ou seja, quanto mais rápida for a cinética do VO_2), existem melhoras e prováveis consequências para o desempenho de corridas de resistência (Demarle et al, 2001; Jones et al, 2003; Caputo & Denadai, 2004). Na verdade, não é por acaso que atletas de elite de resistência têm cinéticas de VO_2 extremamente rápidas e que os indivíduos sedentários, idosos ou doentes e têm cinéticas de VO_2 muito mais lentas (Kilding et al., 2007).

2.5.5. Resumo

De modo a ter-se um apoio teórico sobre a componente prática desta tese, foi efectuada uma vasta pesquisa sobre a resposta do VO_2 durante as várias intensidades de exercício, tendo-se verificado que a cinética do VO_2 determina a contribuição energética proporcional do metabolismo aeróbio e anaeróbio, bem como a taxa de acumulação de metabolitos.

É de realçar os aspectos da resposta dinâmica do VO_2 (uma rápida cinética do VO_2 na fase II, o aumento da amplitude do VO_2 , uma menor componente lenta do VO_2) que podem influenciar positivamente a utilização de reservas anaeróbias e a acumulação de metabolitos relacionados à fadiga, e subsequentemente melhorar a tolerância ao exercício.

Apesar desta forte base teórica na verificação da relação que existe entre a cinética do VO_2 e a tolerância ao exercício, a evidência experimental de apoio é inexistente. Além disso, na medida em que a cinética do VO_2 influencia a tolerância ao exercício parece ser criticamente dependente da interacção entre a cinética do VO_2 com outros parâmetros fisiológicos, incluindo o $\text{VO}_{2\text{max}}$, $v\text{VO}_{2\text{max}}$, L_v .

3. METODOLOGIA

3.1. Introdução

Neste capítulo é feita uma abordagem de forma detalhada de todos os procedimentos metodológicos que fizeram parte do estudo em causa, explicando pormenorizadamente todas as opções tomadas em relação aos métodos aplicados, à sua validação e fiabilidade.

Pretende-se ainda neste capítulo apresentar de que forma este estudo irá decorrer, bem como a apresentação do seu delineamento experimental, selecção da amostra, procedimentos, instrumentos, métodos de avaliação, análise de dados e análise estatística.

3.2. Amostra

A amostra foi constituída por oito atletas, sendo cinco do género masculino e três do género feminino, que participam regularmente em competições de 800 e 1500 metros. De referir que todos os atletas treinam pelo menos seis vezes por semana, e participaram em provas dos campeonatos nacionais nos últimos dois anos. No Quadro 2 apresentam-se as características dos atletas masculinos em estudo.

Quadro 2. Características dos atletas masculinos que constituíram a amostra (\bar{x} representa a média e s.d. o desvio padrão, RN- Recorde Nacional, RM- Recorde Mundial).

Atleta	Género	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (Kg)	800m*	1500m*
					1.40,91(RM) 1.44,91 (RN)	3.26,00(RM) 3.30,07(RN)
A	M	27	191	76	1.49,52	3.38,49
B	M	18	174	61	1.54,06	4.01,21
C	M	22	180	60	1.50,28	3.48,28
D	M	18	174	61	1.58,06	3.59,66
E	M	21	179	67	1.49,09	3.48,75
$\bar{x} \pm s.d.$		22.5 ± 5.26	175.5 ± 8.36	60.5 ± 8.05	1.52,20 $\pm 03,82$	3.51,28 $\pm 0.09,32$

* Os tempos indicados são as melhores marcas dos atletas e resultam de cronometragem electrónica.

No Quadro 3 apresentamos as características das atletas femininas bem como a informação das melhores marcas obtidas na altura em que foram realizados os testes de investigação.

Quadro 3. . Características das atletas femininas que constituíram a amostra (\bar{x} representa a média e s.d. o desvio padrão, RN- Recorde Nacional, RM- Recorde Mundial).

Sujeito	Género	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (Kg)	800m*	1500m*
					1.53,28(RM) 1.58,94 (RN)	3.50,46(RM) 3.57,71(RN)
F	F	33	175	54	2.06,37	4.13,91
G	F	23	168	53	2.24,82	4.47,18
H	F	18	163	52	2.11,35	-
$\bar{x} \pm s.d.$		24.6	168.7	53	2.14,18	4.30,54
		± 7.63	± 6.02	± 1	$\pm 09,55$	$\pm 23,53$

*Os tempos indicados são as melhores marcas dos atletas e resultam de cronometragem electrónica.

Todos os atletas da amostra possuem nível desportivo que lhes tem permitido, nos últimos anos, superar as marcas exigidas pela Federação Portuguesa de Atletismo para a participação nos principais campeonatos de Portugal de Atletismo, nomeadamente ao nível dos escalões Seniores e Sub-23 anos. Dois dos atletas, um do género masculino e outro do género feminino, têm marcas de nível internacional tendo já representado várias vezes a Selecção Portuguesa.

Os atletas e respectivos treinadores foram informados do objectivo do trabalho, formas, número e duração das avaliações, sendo ainda esclarecidas quaisquer dúvidas existentes. Após as referidas informações, atletas e treinadores deram ao seu consentimento para a participação no estudo.

3.3. Instrumentos e Equipamento

Na recolha de valores dos sujeitos foram utilizados vários instrumentos. Para a obtenção da massa corporal foi utilizada uma balança (Seca, Germany), cujos valores obtidos foram apresentados em quilogramas (kg). A altura dos atletas foi medida através da distância em linha recta entre dois planos, um tangente à planta dos pés e outro tangente

ao ponto mais alto da cabeça (ponto vértex), sendo os respectivos valores expostos em centímetros.

Para a recolha dos parâmetros cardiorespiratórios foi utilizado um analisador de gases portátil modelo Metamax 3B *Portable CPX System* (MM3B), sendo os valores expressos em $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

3.4. Procedimento

Os testes foram realizados em dois momentos no mês de Fevereiro de 2012 (período competitivo). Cada sujeito realizou duas provas de esforço na passadeira (Quasar, modelo HP Cosmos/Pulsar): uma submáxima e outra máxima.

Antes da realização de cada prova de avaliação cardiorrespiratória todos os atletas efectuaram um aquecimento de acordo com os seus hábitos normais, sabendo apenas o tipo de teste que iriam realizar.

Num primeiro momento realizaram um protocolo por patamares até à exaustão para a obtenção dos valores dos de consumo máximo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{max}}$), limiares ventilatórios 1 e 2 (L_{v1} e L_{v2}) e velocidade mínima para obtenção do $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{vVO}_{2\text{max}}$) (Bentley et al, 2007).

Num segundo momento realizou-se um teste rectangular (Reis et al, 2012), a 100% $\text{vVO}_{2\text{max}}$ de forma a obterem-se os valores para realização da curva da cinética do VO_2 .

3.5. Métodos de Avaliação

A avaliação cardiorrespiratória foi realizada no primeiro momento do estudo, recorrendo a um analisador de gases *breath by breath* (Metamax 3B, Cortex, Alemanha).

O Metamax 3B (MM3B) é um equipamento portátil composto por um módulo de medição e um módulo de bateria, apresentando estas duas peças o mesmo tamanho

(120mm × 110mm × 45mm). Este aparelho foi concebido para ser usado sobre o peito com um colete próprio, cujo peso total é de 1,40 kg, e na face deverá ser utilizada uma máscara naso-bucal.

De referir que, antes da utilização do MM3B, o mesmo foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante.

Após a recolha, os dados foram suavizados, permitindo de uma forma mais simples calcular os parâmetros fisiológicos em estudo.

A avaliação cardiorrespiratória da Cinética do Consumo de Oxigénio foi obtida no segundo momento do estudo, usando o analisador de gases acima referido.

3.6. Determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$

Todos os atletas foram avaliados através do teste progressivo de modo a determinar os valores do $\text{VO}_{2\text{max}}$, da velocidade associada ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$), do primeiro e segundo limiar ventilatório (L_{v1} e L_{v2}), da velocidade associada ao limiar ventilatório 1 ($v-L_{v1}$), e da velocidade associada ao limiar ventilatório 2 ($v-L_{v2}$) (Hughson et al, 2000; Day et al, 2003).

3.6.1. Teste progressivo

O teste progressivo aplicado e realizado numa passadeira tem como objectivo a obtenção de parâmetros fisiológicos, como a velocidade mínima onde é atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($v\text{VO}_{2\text{max}}$), $\text{VO}_{2\text{max}}$, e limiares ventilatórios.

Este protocolo baseia-se num teste de corrida contínua por patamares de intensidade crescente e fundamenta-se no facto de que a velocidade obtida no último patamar de esforço conseguido pelo atleta corresponde à $v\text{VO}_{2\text{max}}$.

A velocidade inicial considerada foi de 8 km.h⁻¹ com incrementos de 1 km.h⁻¹ a cada 1 min até a exaustão voluntária. Relativamente à percentagem de inclinação da passadeira

esta permaneceu constante (2%) durante todos os patamares para simular o esforço de corrida/caminhada em terreno plano e ao ar livre (Jones & Doust, 1996).

O valor mais alto de VO_2 obtido durante 30 segundos do patamar que levou o atleta à exaustão, foi considerado como o $\text{VO}_{2\text{max}}$. A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ foi considerada como sendo a menor intensidade de exercício na qual ocorreu o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Billat et al, 2000).

O limiar ventilatório 1 (L_{v1}) foi determinado por meio de três parâmetros ventilatórios:

- i) Primeira perda na linearidade da ventilação;
- ii) Aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO_2), sem concomitante aumento do equivalente ventilatório de CO_2 ;
- iii) Aumento da fração expirada de oxigênio ($\%\text{FeO}_2$).

O Limiar Ventilatório 2 (L_{v2}) foi também determinado por meio de três parâmetros ventilatórios:

- i) Segunda perda na linearidade da ventilação;
- ii) Aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de CO_2 (VE/VCO_2);
- iii) Diminuição da fração expirada de CO_2 ($\%\text{FeCO}_2$).

De realçar que tanto o L_{v1} como o L_{v2} foram determinados através de observação, por 2 pesquisadores experientes e independentes.

3.7. Determinação dos Parâmetros da Cinética do VO_2

Após um dia de intervalo, os sujeitos realizaram um teste de carga constante (teste rectangular) na $v\text{VO}_{2\text{max}}$, para a determinação dos seguintes parâmetros:

- i) Tempo total de exercício (TTE);
- ii) Tempo onde é atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($t\text{VO}_{2\text{max}}$);
- iii) Tempo mantido no $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$);
- iv) Constante temporal (τ_p)

v) Amplitude (A_p).

Os testes de carga constante foram realizados no mesmo horário do teste incremental, com variação de ± 2 horas (Carter et al,2002).

3.7.1. Teste de velocidade constante até à exaustão na vVO_{2max}

Inicialmente os sujeitos realizaram um aquecimento à sua vontade, após o qual, permaneceram dois minutos em repouso para serem recolhidos os valores de gases expirados. Posteriormente, a velocidade de exercício foi ajustada para a intensidade associada ao VO_{2max} de cada sujeito.

Quando atingido dois minutos de repouso, o sujeito posicionou-se na passadeira, apoiando-se nos corrimões e soltando-se do mesmo assim que conseguisse ajustar-se à velocidade da passadeira. Neste momento é iniciado o cronómetro manual, sendo este parado quando o sujeito chegava à exaustão.

Considerou-se o tVO_{2max} como o tempo onde é atingido a VO_{2max} à vVO_{2max} , expresso em segundos. Portanto para cada teste, foi definido um diferente TTE. O tempo mantido no VO_{2max} ($T_{lim} VO_{2max}$) foi calculado subtraindo-se do TTE o tVO_{2max} (Billat et al, 2000).

3.8. Análise dos Dados

3.8.1. Modelação dos VO_2 obtidos no teste de velocidade constante

De forma a efectuar a análise dos dados obtidos foram utilizados vários programas. Para a dos dados cardiorrespiratórios foi usado o programa MetaSoft *CPX Software*.

Recorreu-se ao Microsoft Excel (Windows) para efectuar o cálculo das seguintes variáveis:

- i) Percentagem do VO_{2max} associada ao 1º Limiar Ventilatório;
- ii) Percentagem vVO_{2max} associada à velocidade do 1º Limiar Ventilatório;

- iii) Percentagem do $\text{VO}_{2\text{max}}$ associada ao 2º Limiar Ventilatório;
- iv) Percentagem $v\text{VO}_{2\text{max}}$ associada à velocidade do 2º Limiar Ventilatório.

Por fim utilizou-se o uma macro desenhada para correr no SPSS, de forma a obter-se os dados em relação à cinética do consumo de oxigénio, nomeadamente:

- i) Contante temporal (τ_p);
- ii) Atraso temporal (t_d);
- iii) Amplitude da componente primária (A_p)
- iv) Curva bi-exponencial para cinética de oxigénio.

Relativamente às distâncias percorridas, estas foram determinadas através da fórmula:

$$D = v \times t$$

Onde d corresponde à distância percorrida (m), v corresponde à velocidade (m.s^{-1}) e o t representa o tempo (s) total do exercício.

De forma a obter a curva da cinética, realizou-se a exportação dos dados obtidos no teste máximo para o Excel. Foram retirados os valores de tempo (em min ou s) e o VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) de cada atleta. Posteriormente, cada repetição foi alinhada temporalmente e os “*out-liers*” ou valores aberrantes retirados.

Criou-se um ficheiro para cada atleta, tendo sido feita a interpolação dos dados de cada repetição. Colocou-se cada um dos ficheiros obtidos na macro desenhada para funcionar no SPSS de forma a recolher os valores da cinética de VO_2 .

Após a macro do SPSS fornecer os valores de cada série, retiraram-se os primeiros 20s, de exercício correspondentes à fase I - cardio dinâmica, e colocaram-se os restantes valores na macro do SPSS que permite obter uma curva bi-exponencial.

A cinética de aumento de VO_2 foi descrita por uma função bi-exponencial no decorrer do teste de carga constante:

$$VO_{2(t)} = VO_{2base} + A_1 \times (1 - e^{-(t-td1/\tau p1)}) U_1 \quad \text{Fase 2 (Componente Primária)}$$

$$VO_{2base} + A_2 \times (1 - e^{-(t-td2/\tau p2)}) U_2 \quad \text{Fase 3 (Componente Lenta)}$$

onde $U_1 = 0$ para $t < td1$ e $U_1 = 1$ para $t > td1$, e $U_2 = 0$ para $t < td2$ e $U_2 = 1$ para $t > td2$.

O $VO_2(t)$ representa o VO_2 relativo a um dado instante, VO_{2base} representa o VO_2 repouso (calculado através da média do VO_2 nos primeiros 30 segundos do ultimo minuto, antes do exercício se iniciar).

Cada componente foi descrito por um tempo de atraso, (td_1 e td_2), por duas constantes de tempo (τ_{p1} e τ_{p2}) e incluiu também amplitudes (A_1 e A_2) da componente primária e componente lenta respectivamente (Borrani et al, 2001).

Estes parâmetros foram calculados, através de um processo interactivo, minimizando a soma da raiz quadrada da média dos valores das diferenças entre o modelo e os valores de VO_2 medidos.

Uma vez que valor assintótico da segunda função não é necessariamente atingido no final do exercício, a amplitude da componente lenta do VO_2 foi definida como:

$$A_2' = A_2 \times (1 - e^{-(te-td2/\tau p2)})$$

Onde (te) corresponde ao valor do tempo no final do exercício.

3.8.2. Análise Estatística

O tratamento estatístico foi realizado utilizando o programa *Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Statistics, versão 20 para o Windows, SPSS Inc, Chicago, USA)*. Com este programa foi efectuada uma estatística descritiva, onde se utilizaram medidas de tendência central (média) e de dispersão (desvio padrão).

Sendo a amostra inferior a 30, não foi necessário testar a normalidade. Assim sendo optou-se pela utilização do Coeficiente de Correlação de Spearman para verificar a associação entre as diferentes variáveis que se pretendiam avaliar, recorrendo a um nível de significância de $p < 0,05$.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados do teste progressivo e do teste máximo, sendo os mesmos representados por medidas de tendência central (média - \bar{x}) e de dispersão (desvio padrão - $s.d.\pm$).

4.1. Teste progressivo

Nos Quadros 4 e 5 são apresentados, respectivamente os dados dos atletas masculinos e femininos, obtidos na prova progressiva. As variáveis avaliadas foram as seguintes: velocidade mínima para obtenção do VO_{2max} (vVO_{2max}), consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}), o primeiro limiar ventilatório (L_{v1}), o segundo limiar ventilatório (L_{v2}), as velocidades associadas aos limiares ventilatórios ($v-L_{v1}$ e $v-L_{v2}$) e a percentagem do VO_{2max} em que o L_{v1} e L_{v2} foram atingidos ($L_{v1} \% VO_{2max}$ e $L_{v2} \% VO_{2max}$).

Quadro 4. Respostas ventilatórias obtidas e observadas na prova progressiva (atletas masculinos)

	VO_{2max} ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	vVO_{2max} km.h ⁻¹	L_{v1} ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	L_{v1} % VO_{2max}	$v-L_{v1}$ km.h ⁻¹	$v-L_{v1}$ % vVO_{2max}	L_{v2} ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	L_{v2} % VO_{2max}	$v-L_{v2}$ km.h ⁻¹	$v-L_{v2}$ % vVO_{2max}
A	71,50	19,00	53,40	74,69	13,50	71,05	66,40	92,87	16,00	84,21
B	69,70	19,00	50,50	72,45	14,50	76,32	63,00	90,39	16,50	86,84
C	75,00	21,00	51,90	69,20	13,50	64,29	66,80	89,07	15,50	73,81
D	73,90	19,00	59,30	80,24	13,00	68,42	69,70	94,32	16,00	84,21
E	71,70	21,00	48,10	67,09	13,00	61,90	63,80	88,98	15,00	71,43
$\bar{x} \pm s.d.$	72,36 $\pm 2,09$	19,80 $\pm 1,09$	52,64 $\pm 4,20$	72,73 $\pm 5,11$	13,50 $\pm 0,61$	68,39 $\pm 5,67$	65,94 $\pm 2,66$	91,12 $\pm 2,37$	15,80 $\pm 0,57$	80,10 $\pm 6,96$

VO_{2max} – Consumo máximo de oxigénio, vVO_{2max} - velocidade mínima para obtenção do VO_{2max} , L_{v1} – primeiro limiar ventilatório, $L_{v1} \% VO_{2max}$ – percentagem do VO_{2max} em que o L_{v1} foi atingido, $v-L_{v1}$ – velocidade a que o L_{v1} foi atingido, $v-L_{v1} \% VO_{2max}$ – velocidade L_{v1} corresponde à % vVO_{2max} , L_{v2} – segundo limiar ventilatório, $L_{v2} \% VO_{2max}$ – percentagem do VO_{2max} em que o L_{v2} foi atingido, $v-L_{v2}$ – velocidade a que o L_{v2} foi atingido, $v-L_{v2} \% vVO_{2max}$ – velocidade L_{v2} corresponde à % vVO_{2max} .

No Quadro 4, os valores médios obtidos foram os seguintes: VO_{2max} ($72,36 \pm 2,09$ ml.kg⁻¹.min⁻¹), vVO_{2max} ($19,80 \pm 1,09$ km.h⁻¹), L_{v1} ($52,64 \pm 4,20$ ml.kg⁻¹.min⁻¹), $L_{v1} \% VO_{2max}$ ($72,73 \pm 5,11\%$), $v-L_{v1}$ ($13,50 \pm 0,61$ km.h⁻¹), $v-L_{v1} \% vVO_{2max}$ ($68,39 \pm 5,67\%$), L_{v2}

($65,94 \pm 5,67 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), $L_{v2} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ ($91,12 \pm 2,37\%$), $v\text{-}L_{v2}$ ($15,80 \pm 0,57 \text{ km.h}^{-1}$), $v\text{-}L_{v2} \% v\text{VO}_{2\text{max}}$ ($80,10 \pm 6,96\%$).

Deve-se ter também em consideração os valores de percentagem de $\text{VO}_{2\text{max}}$ em que foi atingido o primeiro limiar ventilatório e o segundo limiar ventilatório, uma vez que nos indica indirectamente a dinâmica do lactato durante o exercício através das trocas gasosas (Poole et al, 1988).

O primeiro limiar ventilatório foi atingido em média aos 72,73% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, tendo sido encontrado, tanto o valor mais baixo como o mais elevado: o valor mais baixo pertence ao sujeito E ($67,09\% \text{VO}_{2\text{max}}$) e o mais alto foi verificado pelo sujeito D ($80,24\% \text{VO}_{2\text{max}}$).

O segundo limiar ventilatório surge em média aos 91,12% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, tendo sido o valor mais baixo o do sujeito E ($88,98\% \text{VO}_{2\text{max}}$), e o valor mais elevado o do sujeito D ($94,32\% \text{VO}_{2\text{max}}$).

Pode-se ainda observar que os atletas A, B e D possuem uma $v\text{VO}_{2\text{max}}$ de 19 km.h^{-1} mas apresentam valores distintos de $\text{VO}_{2\text{max}}$. O atleta A apresenta um $\text{VO}_{2\text{max}}$ de $71,50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, enquanto que os atletas B e D apresentam um $\text{VO}_{2\text{max}}$ de $69,70 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e de $73,90 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Verifica-se também que os atletas A, B e D apresentam valores distintos de $L_{v2}\% \text{VO}_{2\text{max}}$, sendo estes de 92,87%, 90,39% e de 94,32%, respectivamente. Quer isto dizer que os atletas A e B, embora apresentem resultados mais baixos de $\text{VO}_{2\text{max}}$, em comparação com o valor obtido pelo atleta D, conseguem absorver mais oxigénio sem acúmulo de lactato, atrasando assim a sua fadiga.

Quadro 5. Respostas ventilatórias obtidas e observadas na prova progressiva (atletas femininas)

	$\text{VO}_{2\text{max}}$ $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$\text{vVO}_{2\text{max}}$ km.h^{-1}	L_{v1} $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	L_{v1} $\% \text{VO}_{2\text{max}}$	v-L_{v1} km.h^{-1}	v-L_{v1} $\% \text{vVO}_{2\text{max}}$	L_{v2} $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	L_{v2} $\% \text{VO}_{2\text{max}}$	v-L_{v2} km.h^{-1}	v-L_{v2} $\% \text{vVO}_{2\text{max}}$
F	72,00	17,00	50,00	69,44	13,00	76,47	64,00	88,89	15,00	88,24
G	65,70	16,00	49,90	75,95	11,50	71,88	58,60	89,19	14,00	87,50
H	68,70	17,00	46,40	67,54	12,00	70,59	62,11	90,41	15,00	88,24
$x \pm s.d.$	68,80 $\pm 3,15$	16,66 $\pm 0,57$	48,76 $\pm 2,05$	70,97 $\pm 4,41$	12,16 $\pm 0,76$	72,97 $\pm 3,09$	61,57 $\pm 2,74$	89,49 $\pm 0,80$	14,66 $\pm 0,57$	87,99 $\pm 0,42$

$\text{VO}_{2\text{max}}$ – Consumo máximo de oxigénio, $\text{vVO}_{2\text{max}}$ – velocidade mínima para obtenção do $\text{VO}_{2\text{max}}$, L_{v1} – primeiro limiar ventilatório, $\text{L}_{\text{v1}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ – percentagem do $\text{VO}_{2\text{max}}$ em que o L_{v1} foi atingido, v-L_{v1} – velocidade a que o L_{v1} foi atingido, $\text{v-L}_{\text{v1}} \% \text{vVO}_{2\text{max}}$ – velocidade L_{v1} corresponde à $\% \text{VO}_{2\text{max}}$, L_{v2} – segundo limiar ventilatório, $\text{L}_{\text{v2}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ – percentagem do $\text{VO}_{2\text{max}}$ em que o L_{v2} foi atingido, v-L_{v2} – velocidade a que o L_{v2} foi atingido, $\text{v-L}_{\text{v2}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ – velocidade L_{v2} corresponde à $\% \text{vVO}_{2\text{max}}$.

No Quadro 5, os valores médios obtidos foram os seguintes: $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($68,80 \pm 3,15 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), $\text{vVO}_{2\text{max}}$ ($16,66 \pm 0,57 \text{ km.h}^{-1}$), L_{v1} ($48,76 \pm 2,05 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), $\text{L}_{\text{v1}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ ($70,97 \pm 4,41\%$), v-L_{v1} ($12,16 \pm 0,76 \text{ km.h}^{-1}$), $\text{v-L}_{\text{v1}} \% \text{vVO}_{2\text{max}}$ ($72,97 \pm 3,09\%$), L_{v2} ($61,57 \pm 2,74 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), $\text{L}_{\text{v2}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ ($89,49 \pm 0,80\%$), v-L_{v2} ($14,66 \pm 0,57 \text{ km.h}^{-1}$), $\text{v-L}_{\text{v2}} \% \text{VO}_{2\text{max}}$ ($87,99 \pm 0,42\%$).

As atletas F e H apresentaram uma $\text{vVO}_{2\text{max}}$ de 17 km.h^{-1} , atingiram os valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ de $72,00 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e $68,70 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente. Estas atletas também apresentaram valores distintos de L_{v1} e L_{v2} , onde a atleta F apresentou um L_{v1} de $50,00 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e um L_{v2} de $64,00 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, enquanto que a atleta H apresentou um L_{v1} de $46,40 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e um L_{v2} de $62,11 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Nas atletas do género feminino, o valor mais elevado do primeiro limiar ventilatório foi obtido pela atleta G ($75,95\% \text{VO}_{2\text{max}}$), sendo o menor valor alcançado pela atleta H ($67,54\%$ do $\text{VO}_{2\text{max}}$). Relativamente ao segundo limiar ventilatório, o valor mais elevado foi obtido pela atleta H ($90,41\%$ do $\text{VO}_{2\text{max}}$) e o menor valor, o da atleta F ($88,89\%$ do $\text{VO}_{2\text{max}}$).

Através do valor das percentagens dos limiares ventilatórios consegue-se compreender que o atleta que tiver uma percentagem maior do $\text{VO}_{2\text{max}}$ consegue manter um VO_2

maior durante toda a prova, sem ter acúmulo de lactato sanguíneo e de outros metabolitos (Burke, 2000; Hug et al, 2005).

Após a análise destes valores conclui-se que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ não é um factor determinante de resultado mas o L_{v2} pode ser. Quanto maior o limiar do VO_2 , mais velocidade se tolera sem existir acumulação de lactato, por conseguinte existe uma maior tolerância ao exercício, existindo assim um melhor desempenho numa prova de longa duração.

Relativamente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$, L_{v1} e L_{v2} e a % $\text{VO}_{2\text{max}}$, obtidos, para todos os atletas, sugerem que independente da especificidade do treinamento, a quantidade de horas de treino (sessões) e sua intensidade tenham sido o factor determinante para que os atletas apresentassem alguns níveis distintos de condicionamento aeróbio.

4.2. Teste de velocidade constante até a exaustão na $v\text{VO}_{2\text{max}}$

Nos Quadro 6 e 7 pode-se observar os resultados obtidos no teste máximo, para os atletas do género masculino e feminino, respectivamente, para as seguintes variáveis:

- i) Tempo Total de Exercício (TTE);
- ii) Tempo em que é atingido o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($t\text{VO}_{2\text{max}}$);
- iii) Tempo mantido no $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$);
- iv) Distância percorrida no teste máximo (D);
- v) Constante Temporal (τ_p) para a componente primária;
- vi) Amplitude (A_p);
- vii) Atraso temporal (td).

Quadro 6. Variáveis da Cinética do Consumo de Oxigénio obtidos no Teste de velocidade constante até à exaustão na vVO_{2max}

	TTE s	tVO_{2max} s	T_{lim}VO_{2max} s	D m	τ_p s	A_p ml.kg ⁻¹	td s
A	274,00	78,00	196,00	1446,00	29,58	71,50	10,00
B	196,00	75,00	121,00	1034,00	27,77	65,38	10,00
C	180,00	80,00	100,00	1050,00	34,10	79,34	10,00
D	186,00	50,00	136,00	982,00	14,61	65,72	9,34
E	179,00	81,00	98,00	1044	21,46	68,81	10
$x \pm s.d.$	203,00 ±40,26	72,80 ±12,94	130,20 ±39,98	1111,00 ±189,00	25,50 ±7,59	70,15 ±5,71	9,86 ±0,29

TTE – Tempo total de exercício, tVO_{2max} – Tempo em que é atingido o VO_{2max}, T_{lim}VO_{2max} – Tempo mantido no VO_{2max}, D – Distância, τ_p – Constante de Tempo, A_p – Amplitude, td – Atraso temporal.

De acordo com os resultados apresentados no Quadro 6 verifica-se que para uma vVO_{2max} média de $19,80 \pm 1,09 \text{ km.h}^{-1}$ (valor obtido através do teste progressivo), a distância média percorrida foi de 1111 ± 189 metros, tendo o atleta A percorrido a maior distância (1446 m) e o atleta D a menor distância (982 m).

O TTE em média foi de $203 \pm 40,26$ seg., onde o atleta A conseguiu ter uma duração total de prova à sua vVO_{2max} , de 274 segundos, e o atleta E apenas conseguiu uma TTE de 179 segundos.

Os atletas em média atingiram o seu VO_{2max} (tVO_{2max}) aos $72,80 \pm 12,94$ segundos, e o tempo mantido no VO_{2max} (T_{lim}VO_{2max}) foi em média de $130,20 \pm 39,98$ segundos. O atleta a manter-se por mais tempo no seu VO_{2max} foi o atleta A, que se manteve por 196 segundos, e o atleta E foi o que se manteve por menos tempo no seu VO_{2max}, onde registou 98 segundos.

Em relação à constante temporal (τ_p) a média foi de $25,50 \pm 7,59$ segundos com uma amplitude (A_p) média de $70,15 \pm 4,55$ segundos e um atraso temporal médio de $9,86 \pm 0,29$ segundos.

Quadro 7. Variáveis da Cinética do Consumo de Oxigénio obtidos no Teste de velocidade constante até à exaustão na $v\text{VO}_{2\text{max}}$ (atletas femininas)

	TTE s	tVO_{2max} s	T_{lim}VO_{2max} s	D m	τ_p s	A_p ml.kg ⁻¹	td s
F	126,00	63,00	63,00	595,00	22,88	73,30	10,00
G	78,00	56,00	22,00	347,00	33,13	68,66	10,00
H	150,00	41,00	109,00	708,00	15,66	68,18	1,74
$x \pm s.d.$	118,00 ±36,66	53,33 ±11,23	64,66 ±43,52	550,00 ±184,00	23,89 ±8,77	70,04 ±2,82	7.24 ±4,76

TTE – Tempo total de exercício, T_{lim}VO_{2max} – Tempo em que é atingido o VO_{2max}, TMVO_{2max} – Tempo mantido no VO_{2max}, D – Distância, τ_p – Constante de Tempo, A_p – Amplitude, td – Atraso temporal.

Referentes às atletas femininas pode observar-se no Quadro 7, que para uma $v\text{VO}_{2\text{max}}$ média de $16,66 \pm 0,57 \text{ km.h}^{-1}$ (valor obtido através do teste progressivo), foram obtidos os seguintes resultados: distância média de 550 ± 184 metros, tendo o atleta H percorrido a maior distância (708 m) e o atleta G a menor distância (347 m).

O TTE em média foi de $118 \pm 36,66$ segundos, onde o atleta H conseguiu ter uma duração total de exercício de 150 segundos, em que o atleta G apenas conseguiu uma TTE de 78 segundos.

As atletas em média atingiram o seu VO_{2max} (tVO_{2max}) aos $53,33 \pm 11,23$ segundos, e o tempo mantido no VO_{2max} (T_{lim}VO_{2max}) foi em média de $64,66 \pm 43,52$ segundos. A atleta a manter-se por mais tempo no seu VO_{2max} foi a atleta H, que se manteve por 109 segundos, e a atleta G foi a que se manteve por menos tempo no seu VO_{2max}, onde registou 22 segundos.

Constatou-se que nos resultados anteriormente apresentados, destacam-se os atletas D e H, com uma constante temporal (τ_p) de 14,61 segundos e 15,66 segundos respectivamente, sendo estes valores semelhantes aos que Kilding et al (2006) obtiveram ($16,4 \pm 1$ s), quando testaram 16 atletas de elite do meio-fundo.

No entanto a média do nosso estudo ($25,50 \pm 7,59$ s e $23,89 \pm 8,77$ s) vai de encontro ao que estabeleceu Caputo et al (2003) e Fawknner et al (2002), onde a τ_p foi de $28,50 \pm 8,50$ s e de $27,90 \pm 8,60$ s respectivamente. A reforçar esta ideia está Poole e Jones

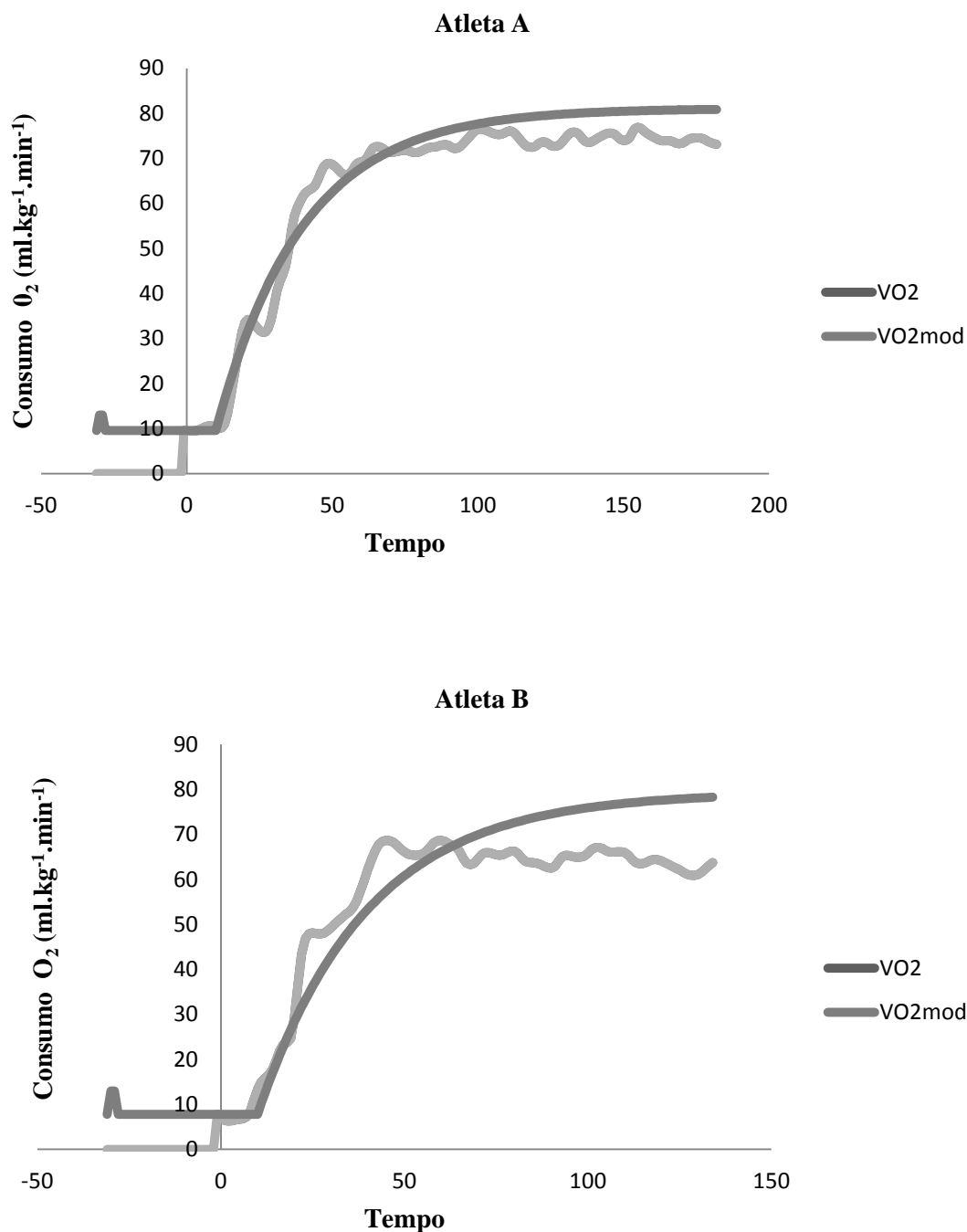
(2005), que referem que para indivíduos saudáveis os valores de τ_p são geralmente entre 20 a 35 segundos, e Whipp e Ozyener (1998) que defendem que a constante de temporal possui uma duração aproximada de 30 segundos.

No entanto atletas treinados apresentam geralmente uma cinética mais rápida (Carter et al, 2000; Borrani et al, 2001; Berger & Jones, 2007; Ingham et al, 2007).

São vários os investigadores a defenderem que uma rápida τ_p está associada a um melhor desempenho na modalidades de resistência (ciclismo, corrida e remo) uma vez que existe uma melhor tolerância à fadiga (Whipp et al, 2002; Burnley & Jones, 2007; Bailey et al, 2009).

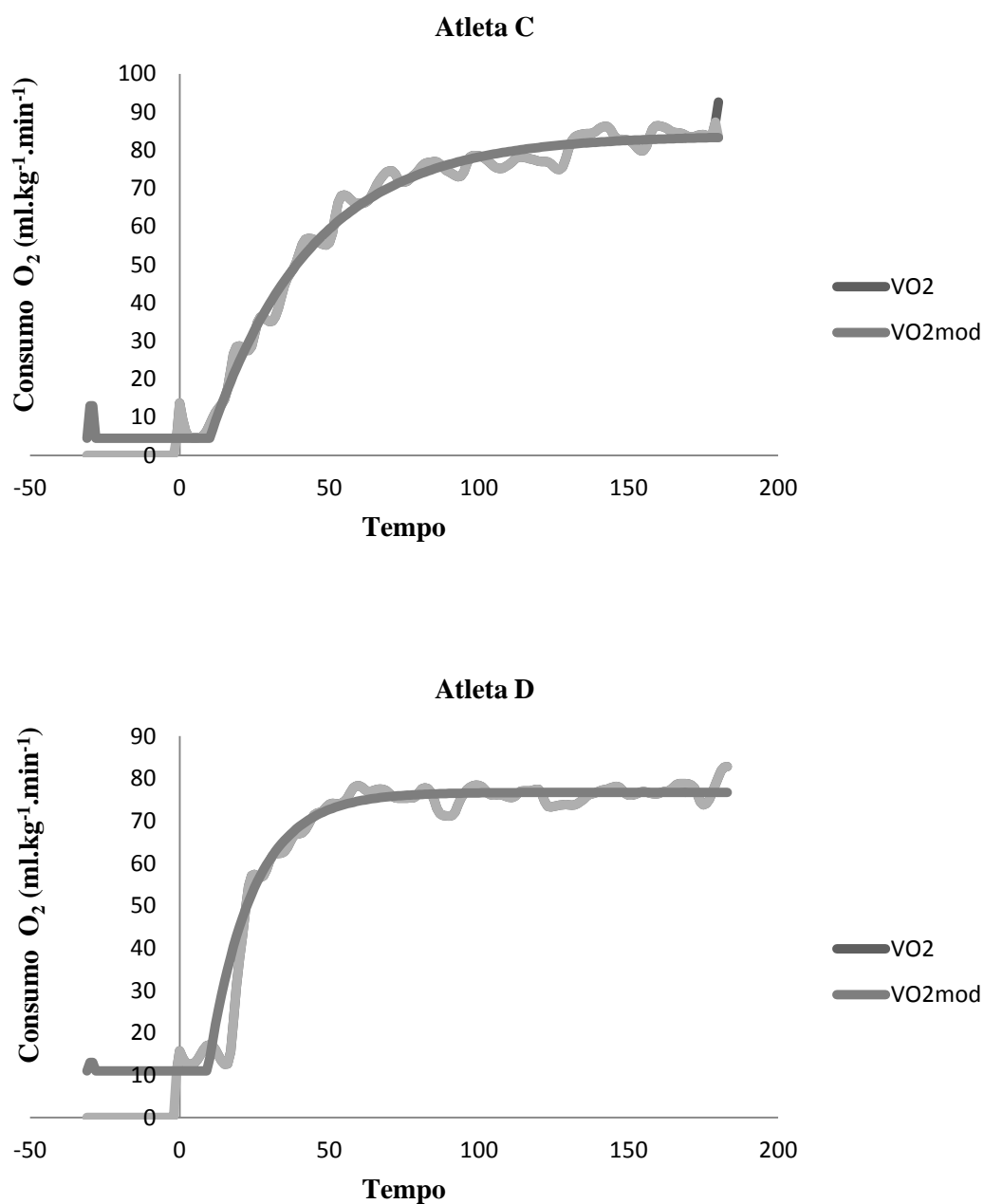
Quer isto dizer que, quanto mais rápido for o aumento da taxa do metabolismo oxidativo (ou seja, quanto mais rápida for a cinética do VO_2), maior é a probabilidade de ocorrência de melhorias no desempenho de corridas de resistência (Demarle et al, 2001; Jones et al, 2003; Caputo & Denadai, 2004). Na verdade, não é por acaso que atletas de elite de resistência têm cinéticas de VO_2 extremamente rápidas e que os indivíduos sedentários, idosos ou doentes e têm cinéticas de VO_2 muito mais lentas (Kilding et al, 2007).

Figura 6. Representação gráfica da curva da cinética de oxigénio dos atletas A e B (VO_2 – Consumo de Oxigénio e VO_{2mod} – Consumo de Oxigénio Modelado)



Através dos dados do Quadro 6 e observando os gráficos da Figura 6, pode-se descrever que nos teste máximo o atleta A atingiu um VO_{2max} superior (71,50 ml.kg⁻¹.min⁻¹), uma τ_p de 29,58 seg. e uma A_p de 71,50 ml.kg⁻¹.min⁻¹, em comparação com o atleta B que atingiu um VO_{2max} de 69,70 ml.kg⁻¹.min⁻¹ uma τ_p de 27,77s. e uma A_p de 65,38 ml.kg⁻¹.min⁻¹.

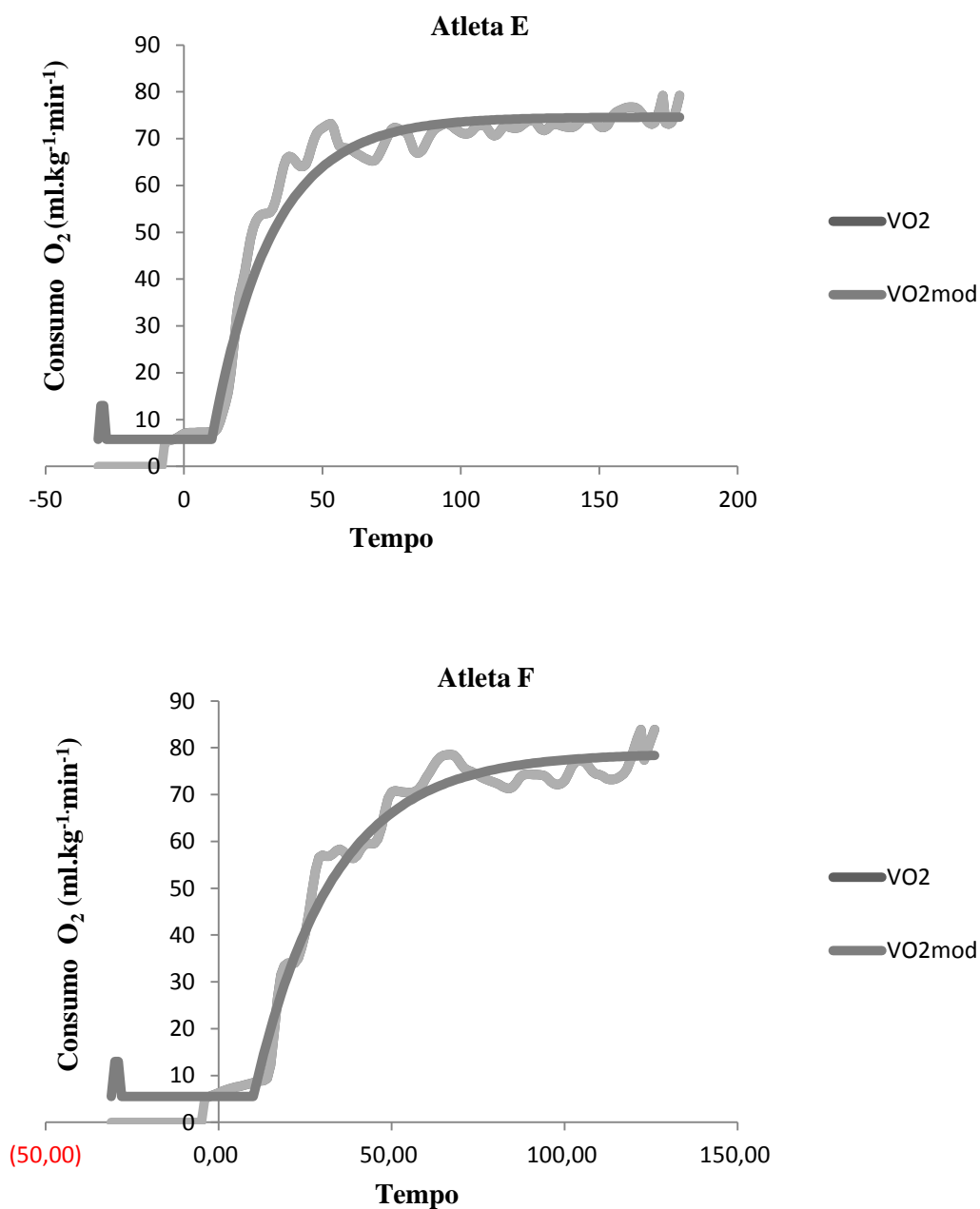
Figura 7. Representação gráfica da curva da cinética do VO_2 dos atletas C e D (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado)



Observando as curvas das cinéticas do VO_2 dos atletas C e D, verifica-se que o sujeito C apresenta uma cinética do VO_2 inicial mais lenta que o atleta D.

De acordo com o Quadro 6 estes atletas tiveram, respectivamente uma τ_p de 34,10s. e 14,61s., querendo isto dizer que este foi o tempo que demoraram a atingir 63% da A_p final. O valor de A_p do atleta C foi de de $79,34 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ e o atleta D obteve uma A_p de $65,72 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Figura 8. Representação gráfica da curva da cinética do VO_2 dos atletas E e F (VO_2 – Consumo de Oxigénio e $\text{VO}_{2\text{mod}}$ – Consumo de Oxigénio Modelado)

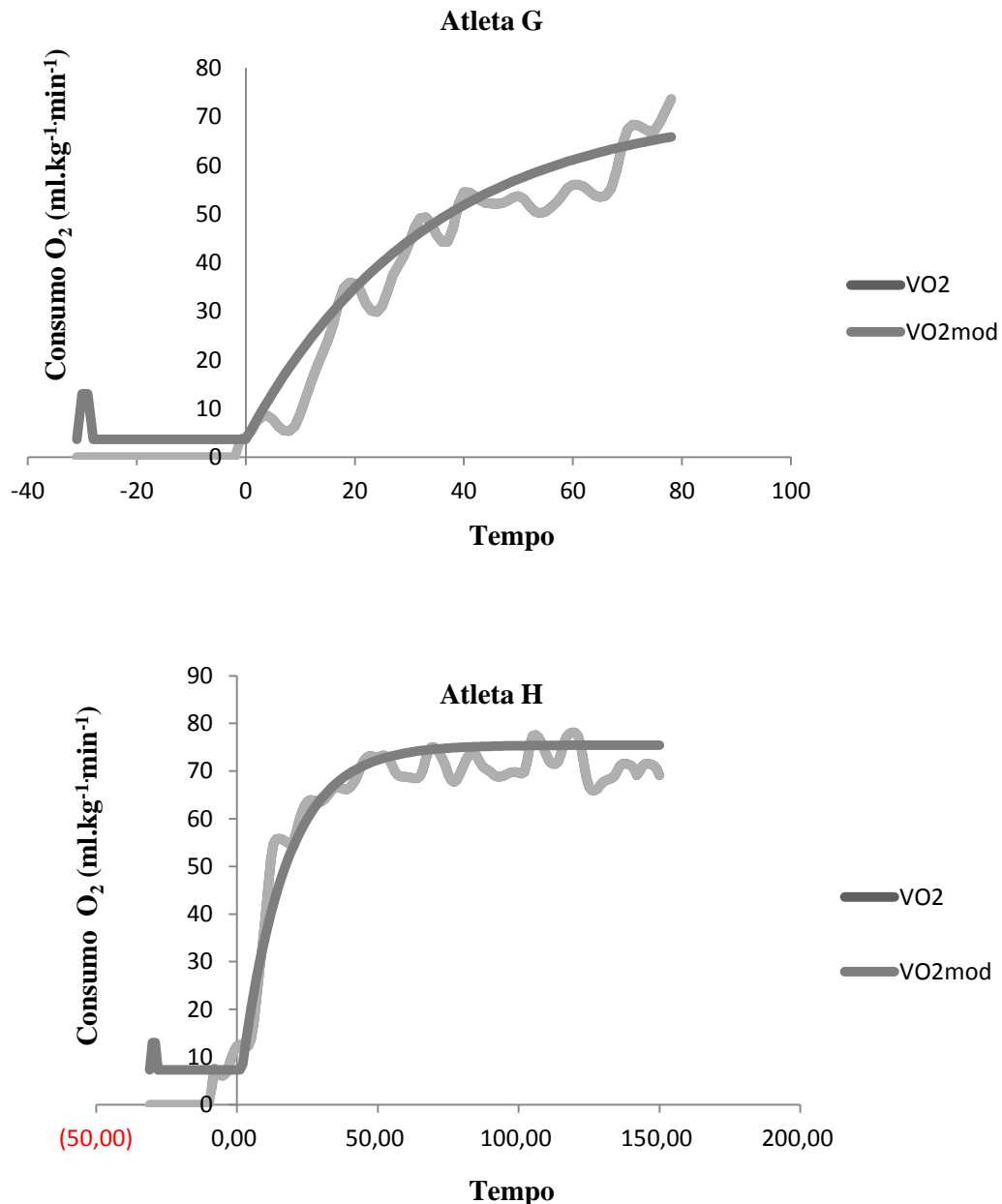


Tanto o atleta E como o atleta F realizaram o teste à sua $v\text{VO}_{2\text{max}}$, tendo sido a do atleta E obtido um valor de 21 km.h^{-1} e o da atleta F de 17 km.h^{-1} .

Pode-se observar nos gráficos da Figura 8 que as curvas da cinética do VO_2 dos atletas E e F apresentam uma constante temporal muito semelhante.

De acordo com os resultados obtidos e apresentados nos Quadros 6 e 7, o atleta E tem uma τ_p de 21,46s e o atleta F uma τ_p de 22,88s. No que diz respeito à A_p o atleta E obteve um valor de 68,81 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e o atleta F de 73,30ml.kg⁻¹.min⁻¹.

Figura 9. Representação gráfica da curva da cinética do VO₂ G e H (VO₂ – Consumo de Oxigênio e VO₂mod – Consumo de Oxigênio Modelado)



Observa-se claramente que a atleta G não tem uma curva bem modelada, o que leva a querer que existiu uma subestima da vVO_{2max} , ou seja, que ela correu abaixo da sua velocidade mínima para atingir o VO_{2max} . Enquanto que a atleta H apresenta uma

excelente modelação, tendo uma cinética VO_2 inicial muito rápida apresentando assim uma τ_p de 15,7s, ou seja o tempo que leva atingir os 63% da A_p total.

A atleta H apresentou um TTE de 150 segundos, um $t\text{VO}_{2\max}$ de 41 segundos e um $T_{\lim}\text{VO}_{2\max}$ de 109 segundos percorrendo uma distância de 708 metros à $v\text{VO}_{2\max}$ correspondente a 17 km.h^{-1} .

Realizada esta análise das curvas da cinética do VO_2 verificou-se que nenhum dos atletas estudados apresentou uma componente lenta do VO_2 , o que vai de encontro com a actual literatura que relata que a componente lenta do VO_2 aparece em exercícios de 360 segundos após 90-120 segundos do início do exercício (Hughson et al.,2000).

Existem muito poucos estudos em que haja modelação da resposta do VO_2 para exercícios com a duração de 120 segundos ou menos (Wilkerson et al, 2004; Draper & Wood, 2005; Carter et al, 2006).

4.3. Resultados – Espoliação Correlacional

De forma a avaliar a natureza da relação existente entre os desempenhos dos corredores masculinos nos 800m, 1500m, e distância obtida no teste de velocidade constante com as variáveis abaixo descritas, utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman.

Quadro 8. Matriz da correlação do desempenho competitivo (800 e 1500 m) e distância obtida no teste velocidade constante associado às variáveis $T_{lim}VO_{2max}$, τ_p , vVO_{2max} , $v-L_{v1}$ e $v-L_{v2}$ para um nível de significância p -value <0.05 .

	τ_p	VO_{2max}	vVO_{2max}	$v-L_{v1}$	$v-L_{v2}$	$T_{lim}VO_{2max}$
800 m	$r = -0,30$	$r = 0,10$	$r = -0,57$	$r = 0,15$	$r = 0,66$	$r = 0,40$
(n=5)	$p = 0,62$	$p = 0,87$	$p = 0,30$	$p = 0,80$	$p = 0,21$	$p = 0,50$
1500 m	$r = -0,60$	$r = -0,30$	$r = -0,28$	$r = 0,10$	$r = 0,46$	$r = -0,20$
(n=5)	$p = 0,28$	$p = 0,62$	$p = 0,63$	$p = 0,86$	$p = 0,43$	$p = 0,74$
D	$r = 0,80$	$r = 0,00$	$r = 0,28$	$r = 0,26$	$r = -0,30$	$r = 0,10$
	$p = 0,10$	$p = 1$	$p = 0,63$	$p = 0,66$	$p = 0,61$	$p = 0,87$

D- Distância obtida no teste velocidade constante, τ_p – constante tempo, VO_{2max} - consumo máximo de oxigénio, vVO_{2max} – velocidade mínima para atingir o VO_{2max} , $v-L_{v1}$ – velocidade em que é atingido o primeiro limiar ventilatório, $v-L_{v2}$ - velocidade em que é atingido o segundo limiar ventilatório, $T_{lim}VO_{2max}$ – Tempo mantido no VO_{2max} .

Os 800 metros não apresentaram relação significativa com as variáveis em estudo, a $v-L_{v2}$ ($r=0,66$, $p=0,21$), a $v-L_{v1}$ ($r = 0,15$, $p=0,80$), o $T_{lim}VO_{2max}$ ($r=0,40$, $p=0,50$), a τ_p ($r=-0,30$, $p=0,62$), a vVO_{2max} ($r=-0,57$, $p=0,30$), e com o VO_{2max} ($r = 0,10$, $p=0,87$).

Os 1500 metros também não apresentaram associação significativa com a τ_p ($r= -0,60$, $p=0,28$), a vVO_{2max} ($r= -0,28$, $p=0,63$), com a $v-L_{v1}$ ($r=0,10$, $p=0,86$), a $v-L_{v2}$ ($r=0,46$, $p=0,43$), o $T_{lim}VO_{2max}$ ($r= -0,20$, $p=0,74$), com o VO_{2max} ($r= -0,30$, $p=0,62$).

De referir ainda que não foi encontrada uma relação significativa entre a D e as seguintes variáveis: τ_p ($r=0,80$, $p=0,10$), vVO_{2max} ($r=0,28$, $p=0,63$), $v-L_{v1}$ ($r=0,26$, $p=0,66$), $v-L_{v2}$ ($r= -0,30$, $p=0,61$) e o $T_{lim}VO_{2max}$ ($r=0,10$, $p=0,87$), VO_{2max} ($r=0,00$, $p=1$).

Sendo assim concluí-se que nenhuma das variáveis acima descritas mostra associação significativa com o desempenho competitivo nos eventos de meio-fundo rejeitando as hipóteses de estudo.

Quadro 9. Matriz da correlação entre as variáveis τ_p e $T_{lim}VO_{2max}$ com as variáveis fisiológicas, VO_{2max} , $v-L_{v1}$, $v-L_{v2}$, para um nível de significância p -value <0.05 .

	τ_p	VO_{2max}	vVO_{2max}	$v-L_{v1}$	$v-L_{v2}$	$T_{lim}VO_{2max}$
τ_p	-	$r = 0,10$ $p = 0,87$	$r = 0,28$ $p = 0,63$	$r = 0,63$ $p = 0,25$	$r = -0,51$ $p = 0,93$	$r = 0,00$ $p = 1$
$T_{lim}VO_{2max}$	$r = 0,00$ $p = 1$	$r = -0,30$ $p = 0,62$	$r = -0,86$ $p = 0,58$	$r = 0,21$ $p = 0,73$	$r = 0,66$ $p = 0,21$	-

τ_p – constante temporal, VO_{2max} – consumo máximo de oxigénio, vVO_{2max} – velocidade mínima para atingir o VO_{2max} , $v-L_{v1}$ – velocidade em que é atingido o primeiro limiar ventilatório, $v-L_{v2}$ – velocidade em que é atingido o segundo limiar ventilatório, $T_{lim}VO_{2max}$ – Tempo mantido no VO_{2max} .

Utilizou-se uma vez mais o Coeficiente de Correlação de Spearman para avaliar a natureza da relação entre a contante temporal, o $T_{lim}VO_{2max}$ e as variáveis fisiológicas obtidas no teste progressivo.

Como se pode observar no Quadro 9, a τ_p não obteve nenhuma associação significativa com as seguintes variáveis: VO_{2max} ($r=0,10$, $p=0,87$), vVO_{2max} ($r=0,28$, $p=0,63$), $v-L_{v1}$ ($r=0,63$, $p=0,25$), $v-L_{v2}$ ($r= -0,51$, $p=0,93$), $T_{lim}VO_{2max}$ ($r=0,00$, $p=1$)

Quadro 10. Matriz da correlação do TTE, da τ_p , da A_p , do tVO_{2max} o $T_{lim}VO_{2max}$, para um nível de significância p -value <0.05 .

	TTE	τ_p	A_p	tVO_{2max}	$T_{lim}VO_{2max}$
TTE	-	$r = 0,20$ $p = 0,74$	$r = -0,20$ $p = 0,74$	$r = 0,40$ $p = 0,50$	$r = 0,90^*$ $p = 0,03$
τ_p	$r = 0,20$ $p = 0,74$	-	$r = 0,70$ $p = 0,18$	$r = 0,40$ $p = 0,50$	$r = 0,00$ $p = 1$
A_p	$r = -0,20$ $p = 0,74$	$r = 0,70$ $p = 0,18$	-	$r = 0,60$ $p = 0,28$	$r = -0,10$ $p = 0,87$

TTE – Tempo total de exercício, τ_p – constante temporal, A_p – amplitude, tVO_{2max} – Tempo em que é atingido o VO_{2max} , $T_{lim}VO_{2max}$ – Tempo mantido no VO_{2max} , * Correlação significativa a $p=0,05$.

De acordo com o disposto no Quadro 10, a variável TTE não teve associação significativa com a τ_p ($r=0,20$, $p=0,74$), a A_p ($r= -0,20$, $p=0,74$), o tVO_{2max} ($r= -0,60$, $p=0,28$), no entanto teve uma relação significativa com o $T_{lim}VO_{2max}$ ($\rho = 0,90$, $p = 0,03$).

A τ_p não mostrou nenhuma associação significativa com a A_p ($r=0,70$, $p=0,18$), o tVO_{2max} ($r=0,40$, $p=0,50$) e também com o $T_{lim}VO_{2max}$ ($r=0,00$, $p=1$).

A A_p também não mostrou uma associação significativa com o tVO_{2max} ($r=0,60$, $p=0,28$) e com $T_{lim}VO_{2max}$ ($r=-0,10$, $p=0,87$).

5. DISCUSSÃO

Os objectivos gerais deste estudo foram investigar a cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo, realizando uma descrição completa destes parâmetros em intensidade máxima, e estabelecer a sua relação com o desempenho e outros parâmetros aeróbios importantes.

Tem sido demonstrado que a cinética VO_2 é importante para exercícios cíclicos de elevada intensidade com uma duração superior a 60 segundos, existindo um assumir de funções por parte do sistema oxidativo, ao transferir a energia química contida nos substratos energéticos para os mecanismos de contracção muscular (Bertuzzi & Souza, 2009).

Os atletas de elite realizam um tempo de prova compreendido entre 1min40s e 2min para os 800 metros e 3min50seg a 4 minutos para os 1500 metros. O facto de o metabolismo aeróbio numa corrida de 1500 metros ter uma contribuição de 89% poderá ter um grande impacto na cinética do VO_2 (Hill, 1999). Isto sugere que os atletas com cinética rápida de VO_2 serão capazes de alcançar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ num espaço de tempo mais curto, terão um pequeno défice de O_2 , e irão acumular menos lactato e outros metabolitos associadas ao processo de fadiga, e devem, portanto, ter uma melhor tolerância do exercício (Jones et al, 2008).

Além disso, devido à média-alta intensidade durante uma corrida de 1500 metros, é provável o aparecimento da componente lenta de VO_2 , o que representa uma eficiência muscular reduzida e é um índice do processo de fadiga (Zoladz et al, 2008; Jones et al, 2011). Assim sendo, pode supor-se que um melhor desempenho de 1500m estará associado com uma menor componente lenta.

Apesar de a maior parte da literatura reconhecer que, para indivíduos de resistência treinados, a τ_p apresenta valores compreendidos entre 20 e 35seg (Bailey et al, 2009; Poole & Jones, 2005; Whipp & Ward, 1992; Carter et al, 2006), uma rápida cinética em atletas treinados tem sido descrita por apresentar intensidades moderadas, pesadas e

graves (Carter et al, 2000; Murias et al, 2010; Bailey et al, 2009; Koppo. et al, 2004; Borrani et al, 2001; Millet et al, 2003; Demarle et al, 2001).

Portanto, considerando o número de anos de formação e o nível de desempenho dos corredores envolvidos neste estudo, não é de estranhar que a média da τ_p seja de $25,50 \pm 7,59$ s para uma intensidade máxima. Estes valores são semelhantes aos verificados em atletas treinados em intensidade de exercício similar (Carter et al, 2006; Ingham et al, 2007).

Não foi observada uma relação significativa entre a τ_p , e as seguintes variáveis: VO_{2max} ($r=0,10$, $p=0,87$), vVO_{2max} ($r=0,28$, $p=0,63$), $v-L_{v2}$ ($r = -0,51$, $p=0,93$), $v-L_{v1}$ ($r=0,63$, $p=0,25$). Querendo isto dizer que não existe uma associação entre uma rápida cinética de VO_2 , e as velocidades dos limiares, o que leva a um a crer que a constante temporal depende da capacidade aeróbia local nos atletas

Whipp et al., (2002) afirmaram, no estudo que efectuaram, que a τ_p não é um bom indicador do nível de condicionamento físico individual. Estudos anteriores mostraram que pessoas com τ_p semelhante podem ter uma grande variação nos valores de VO_{2max} , e vice-versa, ou seja, indivíduos com um VO_{2max} semelhante podem apresentar uma grande variação na τ_p .

No presente estudo dois indivíduos com valores de VO_{2max} de 73,90 e 75,00 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ apresentaram uma τ_p de 14,6 e 34,1 seg., respectivamente, que está em linha com os resultados apresentados por Whipp et al (2002), onde os atletas com um VO_{2max} semelhante tiveram uma grande diferença de τ_p (20 a 60 seg.).

Não é surpreendente a falta de correlação estatisticamente significativa entre o VO_{2max} , $v-L_{v2}$ e a τ_p dado que estas variáveis são sensíveis a adaptações do treino (Demarle et al, 2001; Berger et al, 2006).

Os resultados deste estudo parecem confirmar que a cinética do VO_2 , VO_{2max} e L_{v2} são baseadas em diferentes mecanismos fisiológicos, ou seja, para exercícios envolvendo

grandes massas musculares, o consumo máximo de oxigénio é determinado por mecanismos centrais (Saltin et al, 1992). Este facto sugere que o valor de $\text{VO}_{2\text{max}}$ não é o factor determinante da τ_p .

Contudo uma τ_p mais lenta no domínio de intensidade máxima indica uma redução no oxigénio disponível, aumentando a concentração de lactato no sangue e o declínio do pH (MacDonald et al, 1997; Paterson & Whipp, 1991).

O VO_2 também sobe inevitavelmente até ao consumo máximo de oxigénio ($\text{VO}_{2\text{max}}$) ser atingido e a exaustão aparecer (Whipp et al, 1972; Poole et al, 1988; Ozyener et al, 2001; Wasserman & Whipp, 1975; Gaesser & Poole, 1996). Se a duração do exercício permitir e a $v\text{VO}_{2\text{max}}$ não estiver subestimada, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é sempre atingido e a fadiga ocorre pouco depois (Poole et al, 1988).

Uma τ_p reduzida está associada a um menor défice de oxigénio, a uma menor redução de fosfatos de alta energia no músculo, a um tempo maior até a exaustão (Demarle et al, 2001), a uma melhor tolerância ao exercício (Whipp et al, 2002) e a um melhor desempenho (Burnley & Jones, 2007).

A não associação entre a τ_p e a $v\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r=0,28$, $p=0,63$) pode ser explicada por uma diminuição da contribuição oxidativa para a transferência de energia, induzida por uma cinética mais lenta. Pois cinéticas mais rápidas levam a adaptações do VO_2 levando a um aumento da exigência metabólica, minimizando o défice de O_2 , e consequentemente aumentar a capacidade de tolerância a exercícios de alta intensidade (Bailey et al, 2009; Burnley & Jones, 2007).

A redução do défice O_2 diminui a depleção de fosfocreatina muscular e glicogénio, e acumulação de metabolitos que podem estar associadas com o aparecimento da fadiga. Assim, para uma dada magnitude do défice de O_2 , uma rápida cinética do VO_2 corresponde às saídas de maior potência (Burnley & Jones, 2007).

No nosso estudo não foi verificada a existência de componente lenta durante o teste máximo. A razão pela qual isso pode ter sucedido é sustentada com estudos anteriores

que têm associado uma reduzida ou nenhuma componente lenta com as elevadas percentagens de fibras do tipo I verificadas nos músculos activos (Pringle et al, 2003, Barstow et al, 1996).

Não sendo do âmbito deste estudo analisar aprofundadamente o recrutamento de fibras musculares, podemos sublinhar que, como as fibras do tipo I têm maior capacidade oxidativa, parece lógico que o maior recrutamento deste tipo de fibra induziria tanto uma diminuição da componente lenta como um maior valor do limiar ventilatório (Sale et al, 1990).

Em relação à A_p da componente primária, a literatura indica poucas ou nenhuma associações entre o TTE, o tVO_{2max} e o $T_{lim}VO_{2max}$. Neste estudo a A_p também não apresentou relação com o TTE ($r = -0,20$, $p = 0,74$), com o tVO_{2max} ($r = 0,60$, $p = 0,28$) e com a $T_{lim}VO_{2max}$ ($r = -0,10$, $p = 0,87$) corroborando os resultados apresentados por Petot H. et al (2011) que num estudo realizado com 14 sujeitos encontrou correlação negativa.

Lucía et al. (2006) demonstrou no seu estudo que, de 38 ciclistas profissionais só apenas 47% dos sujeitos apresentou um estado estável de VO_{2max} , com uma amplitude de VO_{2max} de $74 \pm 6 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, muito próximo da média obtida no nosso estudo, para os atletas masculinos ($70,15 \pm 5,71 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e para as atletas do género feminino ($70,04 \pm 2,82 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$),

Em 2007, Lacour et al. verificou que apenas 40% dos sujeitos mantiveram a VO_{2max} com uma amplitude de VO_{2max} média de $64 \pm 5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Isto leva-nos a questionar quais os factores limitadores de duração um VO_{2max} estável e a amplitude do VO_{2max} .

Estudos anteriormente realizados demonstraram que o $T_{lim}VO_{2max}$ na intensidade associada ao VO_{2max} fica entre 2 minutos e 30 segundos e os 10 minutos (Billat et al, 1996; Billat et al, 2000). No entanto são poucos os estudos realizados na intensidade que permita alcançar o VO_{2max} e onde existe uma rápida instalação da fadiga (Billat et al, 2000; Smith et al, 2000).

Contudo, no estudo desenvolvido no âmbito da presente tese, o $T_{lim}VO_{2max}$ foi obtido em intensidades máximas, situando-se entre os 41 segundos. e 1 minuto e 21 segundos,

uma vez que a duração do nosso exercício foi menor comparando com os estudos de Billat et al (1996, 2000)

Segundo Billat et al (1994) este parâmetro apresenta grande utilidade para a prescrição de treino aeróbio intervalado, pois permite atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$ e realizar varias séries de corrida com o mínimo de fadiga instalada (Billat et al, 2000).

De acordo com Carter et al (2006) a capacidade anaeróbia influencia o $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$. No entanto Faina et al (1997) demonstrou que o ganho do VO_2 se apresenta reduzido à medida que existe um aumento da velocidade de corrida. Este factor pode influenciar o $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$, solicitando uma maior contribuição do metabolismo anaeróbio para se realizar a ressíntese do ATP, uma vez que a fosforilação oxidativa estaria diminuída, levando assim a um aparecimento precoce da acidose metabólica e da fadiga.

São vários os estudos que apresentam uma média de $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$ superiores ao do nosso estudo, entre eles estão os estudos de Billat et al (1994), Denadai et al (2004), Messonier et al (2002), Morton e Billat (2000), Renaux et al (2000). Os valores de $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$ apresentados nestes estudos podem ser devidos a uma melhor potência e capacidade anaeróbia dos sujeitos como demonstrou Weyand et al (1999), submetendo os indivíduos a realizarem esforços até à exaustão em condições de hipoxia.

Os dados deste estudo corroboraram com os de Caputo e Denadai (2005) onde demonstraram uma correlação entre TTE e $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r = 0,68$). Portanto, para os atletas em estudo, o $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$ ($r=0,90$, $p=0,03$) explica os valores de TTE.

Este estudo mostrou que tanto a τ_p e o $T_{\text{lim}}\text{VO}_{2\text{max}}$ não mostraram associações significativas com a $v\text{VO}_{2\text{max}}$,nem com o desempenho competitivo nos eventos de 800 e 1500 metros, levando-nos a crer que não são variáveis de predição do desempenho dos atletas de meio-fundo.

A importância deste estudo esteve no facto de se tentar entender os ajustes da cinética do VO_2 nos atletas que apresentam teoricamente um mesmo nível de condicionamento, em exercício no domínio severo, o que em princípio levaria a uma dinâmica mais rápida

da cinética do VO_2 para os atletas com maiores valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$, o que não ocorreu no presente estudo.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e nas limitações do presente estudo pôde-se concluir que, os dados encontrados para a constante temporal encontram-se enquadrados nos valores de obtidos por outros autores, no entanto seria de esperar uma cinética mais rápida para atletas altamente treinados.

Verificou-se que os parâmetros da cinética do VO_2 e os restantes parâmetros do “aeróbios” não estão associados ao desempenho nas competições de 800 e 1500 metros, bem como a distância percorrida no teste máximo

Estes resultados podem dever-se ao facto da amostra em estudo ser muito reduzida. Posto isto, seria interessante realizar um próximo estudo onde seja possível contar com a presença de mais atletas, a fim de confirmar, com mais clareza, algumas das considerações que se fazem neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmaidi, S., Hardy, J.M., Varray, A., Collomp K., Mercier J., Préfaut C. (1993). Respiratory gas exchange indices used to detect the blood lactate accumulation threshold during an incremental exercise test in young athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66 (1), 31-36.
- Almarwaey, O.A., Jones, A.M.; Tolfrey, K. (2003). Physiological correlate with endurance running performance in trained adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, n.3, 480-487.
- Alves, F., & Reis, J. (2006). Training induced changes in critical velocity and v_4 in age group swimmers. *Portuguese Journal of Sport Sciences*; 6 (2): 311 - 313.
- Astrand, P., Rodahl, K., Dahl, H.A., & Strømme, S.B. (2003). Textbook of work physiology: *Physiological bases of exercise*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- Astrand, P., Rodahl, K., Dahl, H., & Strømme, S.B. (2006). *Tratado de Fisiologia do Trabalho: Bases Fisiológicas do Exercício*. Porto Alegre: Artmed.
- Bailey, S.J., Vanhatalo, A., Wilkerson, D.P., DiMenna, F.J., & Jones, A.M. (2009). Optimizing the "priming" effect: influence of prior exercise intensity and recovery duration on O_2 uptake kinetics and severe-intensity exercise tolerance. *Journal of Applied Physiology*, 107(6), 1743-1756.
- Bailey, S.J., Wilkerson, D.P., DiMenna, F.J., & Jones, A.M. (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1875-1887.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alonso, J., Bonshel, R., Saltin, B. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279, 899–906.

Barstow, T.J., & Molé, P.A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*; 71: 2099-2106.

Bartstow, T.J., Buchthal, S., Zanconato, S., & Cooper, D.M. (1994). Muscle energetics and pulmonar oxygen uptake kinetics during moderate exercise. *Journal of Applied Physiology*, 77 (4), 1742-9.

Barstow, T.J., Jones, A.M., Nguyen, P.H., & Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81, 1642-1650.

Barstow, T.J., & Scheuermann, B.W. (2005). VO₂ kinetics: effects of age and maturation. In Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds) *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge, London, pp. 331-352.

Bassett, D.R., Jr, Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 32(1):70–84.

Beaver, W.L., Wassermann, K., Whipp, B.J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*.; 60: 2020-2027.

Behnke, B.J., Bartstow, T.J., & Poole, D.C. (2005). Relationship between VO₂ responses at the mouth and across exercising muscles. In A.M. Jones & D.C. Poole (eds), *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. (pp. 141 -153), Oxon, England: Routledge.

Belman, M.J., & Gaesser, G.A. (1991). Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (5):562-8.

Beneke, R., Heck, H., Schwarz, V., Leithäuser, R. (1996). Maximal lactate steady state during the second decade of age. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1474-8.

Bentley, D.J., Newel J., Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, Auckland, v.37, n.7, p.575-586.

Berg, K. (2003). Endurance training and performance in runners: research limitations and unanswered questions. *Sports Medicine*. 33(1):59-73.

Berger, N.J.A., Tolfrey, K., Williams A.G., Jones, A.M. (2006). Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38; n3, p 504-512.

Berger, N.J.A., & Jones, A.M. (2007). Pulmonary uptake on-kinetics in sprint and endurance-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32 (3), 383 – 93.

Bertuzzi, R., Lima-Silva, A., Cal Abad, C., de Oliveira F. (2009). Lactate metabolism: bioenergetics and muscle fatigue review. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 11 (2): 226 – 234.

Billat, L.V., Renoux, J.C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J.P. (1994). Reproducibility of running time to exhaustion at VO_{2max} in sub-elit runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2, 254 – 257.

Billat, L.V., & Koralsztein, J.P. (1996). Significance of the velocity at VO_{2max} and time to exhaustion at this velocity. *International Journal Sports Medicine*, 22 (2):90-108.

Billat, L.V., Mille- Hamard, L., Petit, B., & Koralsztein J.P. (1999). The role of cadence on the VO_2 slow component in cycling and running in triathletes. *International Journal Sports Medicine*, 20 (7), 429-37.

Billat, L.V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P., & Koralsztein, J.P. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *European Journal of Applied Physiology*. 81, 188-196.

Billat, L.V. (2001a). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle and long distance running. Part I: Aerobic interval training. *International Journal Sports Medicine*, 31 (1), 13– 31.

Billat, L.V. (2001b). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle and long distance running. Part II: Anaerobic interval training. *International Journal Sports Medicine*, 31 (12), 75 – 90.

Billat, L.V., Lepetre, P.M., Heugas, A.M., Laurence, M.H., Salim, D., Koralsztein, J.P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in male and female Kenyan runners. *Medicine of Science and Sports Exercise*, 32(2):297-304; discussion 305-6.

Billat, L.V., Mille-Hamard, L., Koralsztein, J.P., Morton, R.H. (2009). Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run. *Journal of Applied Physiology*, 107(2):478-87.

Borroni, F., Candau, R., Millet, G.Y., Perrey, S., Fuchslocher, J., Rouillon, J.D. (2001). Is the VO_2 slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? *Journal of Applied Physiology*, 90: 2212-2220.

Boulay, M.R., Simoneau J.A, Lortie G., & Bouchard C. (1997). Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 29:125– 132.

Brandon, L.J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Medicine*, 19, 268-277.

Brisswalter, J., Legros, P., Durand, M. (1996). Running economy, preferred step length correlated to body dimensions in elite middle distance runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36, p.7-15.

Brooks, G., Fahey, T., White, T., Baldwin, K. (2000). Exercise Physiology: *Human bioenergetics and its applications* (3rd edition). California: Mayfield Publishing Company

Burnley, M., Doust, J.H., Ball, D., & Jones, A.M. (2002). Effects of prior heavy exercise on VO₂ kinetics during heavy exercise are related to changes in muscle activity. *Journal of Applied Physiology*, 93, 167-174.

Burnley, M., & Jones, A.M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sports Science*, 7, 63-79.

Burke, E.R. (2000). Physiology of cycling. In: Garrent & Kirkendall, editors: *Exercise and sport science*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, p. 759-70.

Caiozzo, V.J., Davis, J.A., Ellis, J.F., Azus, J.L., Vandagriff, R., Prietto, C.A.; McMaster, W.C. (1982). A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology: Respiratory Environment Exercise Physiology*, Bethesda, v.53, n.5, p.1184-1189.

Caputo, F., Mello, M.T., Denadai, B.S. (2003). Oxygen uptake kinetics and time to exhaustion in cycling and running: a comparison between trained and untrained subjects. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 111 (5):461-6.

Caputo, F., & Denadai, B.S. (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 93 (1-2), 87-95.

Caputo, F., & Denadai, B.S. (2005). Exercise mode affects the time to achieve VO_{2max} without influencing maximal exercise time at the intensity associated with VO_{2max} in triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 26: 1-6.

Carter, H., Jones, A.M., Barstow, T.J., Burnley, M., Williams, C., Doust, J.H. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Applied Physiology*, 89 (5):1744-1752.

Carter, H., Pringle, J.S., Jones, A.M., Doust, J.H. (2002). Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4):347-354.

Carter, H., Pringle, J.S., Barstow, T.J., Doust, J.H. (2006). Oxygen uptake kinetics during supra $\text{VO}_{2\text{max}}$ treadmill running in humans. *International Journal of Sports Medicine*, 27(2):149-157.

Casaburi, R., Storer, T.W., Ben-Dov, I., & Wasserman, K. (1987). Effect of endurance training on possible determinants of VO_2 during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 62(1), 199 – 207.

Casaburi, R., Barstow, T. J., Robinson, T., & Wasserman, K. (1989). Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology*, 67, 547-555.

Casaburi, R., Barstow, T.J., Robinson, T., & Wasserman, K. (1992). Dynamic and steady-state ventilatory and gas exchange responses to arm exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(12):1365-74.

Casaburi, R., Storer, T.W., Sullivan, C.S., & Wasserman, K. (1995). Evaluation of blood lactate elevation as an intensity criterion for exercise training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (6):852-62.

Cerretelli, P., Shindell, D., Pendergast, D.P., di Prampero, P.E., Rennie, D.W. (1977). Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work. *Respiration Physiology*, 30(1-2):81-97.

Cerretelli, P., Pendergast, D.P., Paganelli, W.C., & Rennie, D.W. (1979). Effects of specific muscle training on VO_2 on-response and early blood lactate. *Journal of Applied Physiology*, 47, 761-769.

Chilibeck, P.D., Paterson, D.H., Petrella, R.J., Cunningham, D.A. (1996). The influence of age and cardiorespiratory fitness on kinetics of oxygen uptake. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21 (3), 1331-8.

Craig, I.S., & Morgan, D.W. (1998). Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (11), p.1631-1636.

Daniels, J., & Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (4):483-9.

Daussin, F.N., Zoll, J., Dufour, S.P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Geny, B., Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology- Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295: 264–72.

Day, J.R., Rossiter, H.B., Coats, E.M., Skasick, A., Whipp, B.J. (2003). The maximally attainable VO_2 during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *Journal of Applied Physiology*, 95:1901-1907.

Denadai, B.S., Ortiz, J.M., Mello, T.M. (2004) Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 10 (5):401-404.

Demarle, A.P., Slawinski, J.J., Laffite, L.P., Bocquet, V.G., Koralsztein, J.P., & Billat, V.L. (2001). Decrease of O_2 deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 90, 947-953.

Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., & Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*, 89:281–288.

di Prampero, P.E., Atchou, G., Bruckner, J.C., Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3):259-66.

di Prampero, P.E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P., Soule, R.G. (1993). Energetics of best performances in middle distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74 (5):2318-24.

Draper, S.B., & Wood, D.M. (2005). The VO₂ response for an exhaustive treadmill run at 800-m pace: a breath-by-breath analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 93(4):381-389.

Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 1500m and 3000m track running. *Journal of Sports Sciences*, 23 (10) 993-1002.

Duffield, R., Dawson, B., & Goodman, C., (2005). Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23 (3): 299 – 307.

Elrick, R., Gamboa, J.D., Martin, D.E., Mora, A.H., Paterson, M., Piqueras, M.P., Schmidt, P., Vittori, C. (1996). Speed in the 800 metre. *New Studies in Athletics-Round Table 32*, 11(4): 7–22.

Evans, S.L., Davy, K.P., Stevenson, E.T., Seals, D.R. (1995). Physiological determinants of 10 km performance in highly trained female runners of different age. *Journal of Applied Physiology*, 75(8):1931-41.

Faccioni, A. (1991). Training and the 800m event. *Modern Athlete and Coach*, 29 (2): 3 – 5.

Faina, M., Billat, V., Squadrone, R., De Angelis, M., Koralsztejn, J.P. (1997). Anaerobic contribution to the time to exhaustion at minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 76, p. 13-207.

Faisal, A., Beavers, K.R., Robertson, A.D., & Hughson, R.L. (2009). Prior moderate and heavy exercises accelerate oxygen uptake and cardiac output kinetics in endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 106, 1553-1563.

Fawcner, S.G., Armstrong, N., Potter, C.R., Welsman, J.R. (2002). Oxygen uptake kinetics in children and adults after the onset of moderate-intensity exercise. *Journal of Sports Sciences*, 20(4):319-26.

Fawcner, S.G., & Armstrong, N. (2003). Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. *Sports Medicine*, 33, 651-669.

Ferri, A., Adamo, S., La Torre, A., Marzorati, M., Bishop, D.J., Miserocchi, G. (2012). Determinants of performance in 1,500-m runners. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (8):3033-43.

Fernhall, B., & Kohrt, W. (1996). The effect of training specificity on maximal and submaximal physiological responses to treadmill and cycle ergometry. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 30(3):268-75.

Foster, C., Yarbrough, R.A., & Daniels, J.T., (1978). Changes in $\text{VO}_{2\text{max}}$ and running performance with training. *European Journal of Applied Physiology*, 39 (4), 249 – 254.

Fox, E.L; Bowers, R.W., & Foss, M.L (1991). *Bases fisiológicas da educação física e dos desportos*. Editora Guanabara Koogan, 4ª edição, Rio de Janeiro.

Gaesser, G.A., Poole, D.C., Gardner, B.P. (1984). Dissociation between $\text{VO}_{2\text{max}}$ and ventilatory threshold responses to endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53 (3):242-7.

Gaesser, G.A. (1994). Influence of endurance training and catecholamines on exercise VO_2 response. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (11):1341-6.

Gaesser, G. A., & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sports Sciences, Reviews*, 24, 35-71.

Gamboa, J.D., Elrick, R., Martin, D.E., Mora, A.H., Paterson, M., Piqueras, M.P., Schmidt, P., Vittori, C. (1996). Speed in the 800 metre. *New Studies in Athletics-Round Table 32*, 11(4): 7-22.

Gastin, P.B. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 4, p. 91-112.

Gibson, A, Lambert, M.I., Hawley, J.A., Broomhead, S.A., Noakes, T.D. (1999). Measurement of maximal oxygen uptake from two different laboratory protocols in runners and squash players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:1226 – 1229.

Goldberg, L., Elliot, D.L., & Kuehl, K.S. (1988). Assessment of exercise intensity formulas by use of ventilatory threshold. *Chest* 94:95 – 98.

Grassi, B., Poole, D.C., Richardson, R.S., Knight, D.R., Erickson, B.K. & Wagner, P.D. (1996). Muscle O_2 uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *Journal of Applied Physiology*, 80, 988 – 998.

Grassi, B. (2001). Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? *Exercise and Sport Sciences, Reviews*, 29 (3), 134 – 138.

Grassi, B., Rossiter, H.B., Hogan, M.C., Howlett, R.A., Harris, J.E., Goodwin, M.L., Dobson, J.L., & Gladden, L.B. (2011). Faster O_2 uptake kinetics in canine skeletal muscle in situ after acute creatine kinase inhibition. *Journal of Applied Physiology*, 589, 221-233.

Green, S., & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. *Sports Medicine*, 15: 312–327

Hagberg, J.M., Mullin, J.P., & Nagle, F.J. (1978). Oxygen consumption during constant-load exercise. *Journal of Applied Physiology*, 45, 381-384.

Hanon, C.; Leveque, J.M.; Thomas, C., Vivier, L. (2008). Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 3, p.206-11, 2008.

Hartmann, U., Mader, A. (1994). Importance of lactate parameter for performance diagnosis and for the regulation in top competition and in recreational sports. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 14-20.

Haseler, L.J., Hogan, M.C., Richardson, R.S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v. 86, n. 6, p. 2013-2018.

Heazlewood, I. (1984). Pay attention to anaerobic training. *Athletics Coach*, 22 (3): 29 - 31.

Hill, A.V., Lupton, L., (1923). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. *The Quarterly Journal of Medicine*, 16, 135 – 171.

Hill, A.V., Long, C.N.S., Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactate acid, and the supply and utilization of oxygen. *Proceedings of the Royal Society B*, 96: 438– 475, 97: 84– 138.

Hill, D.W. (1999). Energy contributions in middle distance runnings events. *Journal of Sports Science*, 17 (6), 477-83.

Hill, D.W., & Stevens, E.C. (2001). The VO₂ response at the onset of severe intensity exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 26 (4), 350-5.

Hill, D.W., Alain, C., Kennedy, M.D. (2003). Modeling the relationship between velocity and time to fatigue in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (12):2098– 2105.

Hollmann, W. (2001). 42 Years Ago – Development of the Concepts of Ventilatory and Lactate Threshold. *Sports Medicine*, 31 (5), 315-320.

Hug, F., Bendahan, D., Le Fur, Y., Cozzone, P.J., Grelot, L. (2005). Metabolic recovery in professional road cyclists: A 31P-MRS Study. *Medicine Science Sports Exercise*, 37(5): 846-52.

Hughson, R.L., & Morrissey, M.A. (1983). Delayed kinetics of VO_2 in the transition from prior exercise. Evidence for O_2 transport limitation of VO_2 kinetics: A review. *International Journal of Sports Medicine*, 4: 31-39.

Hughson, R.L., O’Leary, D.D., Betik, A.C., Hebestreit, H. (2000). Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, 88(5): 1812- 1819.

Hughson, R.L. (2005). Regulation of the VO_2 on-kinetics by O_2 delivery. In Jones, A. M. and Poole, D. C. (eds) *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge, London, pp. 185-211.

Hughson, R.L. (2009). Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 34, 840-850.

Ingham, S.A., Carter, H., Whyte, G.P., & Doust, J.H. (2007). Comparison of the oxygen uptake kinetics of Club and Olympic Champion Rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39 (5), 865-71.

Ingham, S.A., Whyte, G.P., Pedlar, C., Bailey, D.M., Dunman, N., Nevill, A.M. (2008) Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2):345-50.

Jones, A.M., & Doust, J.H., (1996). A 1% Treadmill Gradient Most Accurately Reflects the Energetic Cost of Outdoor Running, *Journal of Sports Sciences*, 14, 321 – 327.

Jones, A.M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29, 373-386.

Jones, A.M., Koppo, K., & Burnley, M. (2003). Effects of prior exercise on metabolic and gas exchange responses to exercise. *Sports Medicine*, 33 (13), 949-971.

Jones, A.M., Wilkerson, D.P., Burnley, M, Koppo K. (2003). Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (12):2085-92.

Jones, A.M., & Poole, D.C. (2005). Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. In Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds) *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge, London, pp. 3-38.

Jones, A.M., & Koppo, K. (2005). Effect of training on VO₂ kinetics and performance. In Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds) *Oxygen Uptake Kinetics in Sports, Exercise and Medicine*. Routledge, London, pp. 373 -398.

Jones, A.M., Wilkerson, D.P., Vanhatalo, A., Burnley, M. (2008). Influence of pacing strategy on O₂ uptake and exercise tolerance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18(5):615-26.

Jones, A.M., & Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4 (4), 524-532.

Jones, A.M., Grassi, B., Christensen, P.M., Krstrup, P., Bangsbo, J., Poole, D.C. (2011). Slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11):2046-62.

Kara, M., Gökbel, H., Bediz, C.S. (1999). A combined method for estimating ventilatory threshold. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39 (1), p.16-19.

Katch, V., Weltman, A., Sady, S., & Freedson, P. (1978). Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 39, 219-227.

Kilding, A.E., Winter, E.M., & Fysh, M. (2006). Moderate-domain pulmonary oxygen uptake kinetics and endurance running performance. *Journal of Sport Sciences*, 24 (9), 1013-1022.

Kilding, A.E., Fysh, M., Winter, E.M. (2007). Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle- and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 100 (1), pp 105-114.

Koppo, K., Bouckaert, J., & Jones, A.M. (2004). Effects of training status and exercise intensity on phase II VO_2 kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (2), 225-232.

Krogh, A., & Lindhard, J. (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *The Journal of Physiology*, 47(1-2):112-36.

Krustrup, P., Hellsten, Y., & Bangsbo, J. (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *The Journal of Physiology*, 559, 335-345.

Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J.C., Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. *European Journal of Applied Physiology*, 60, p.38-43.

Lacour J.R., Messonnier L., Bourdin M. (2007). The leveling-off of oxygen uptake is related to blood lactate accumulation. Retrospective study of 94 elite rowers. *European Journal of Applied Physiology*, 101:241 – 247.

Linnarsson, D. (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiologica. Scandinavica Supplementum*, 415, 1 – 68.

Lucía A., Rabadán M., Hoyos J., Hernández-Capilla M., Pérez M., San Juan A.F., Earnest C.P., Chicharro J.L. (2006). Frequency of the $\text{VO}_{2\text{max}}$ plateau phenomenon in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 27:984 – 992.

Martin, D.E. & Coe, P.N. (1997). *Better Training for Distance Runners* (2nd edition). Human Kinetics: Champaign, IL, USA.

MacLaren, D.P.M., & Coulson, M. (1999). Critical swim speed can be used to determine changes in training status. In: *Biomechanics and Medicine in swimming VIII*, edited by Keskinen K.L., Komi P.V., Hollander A.P. Jyväskylä: Grummerus printing: p. 227-32.

MacDonald, M., Pedersen, P., Hughson, R. (1997). Acceleration of VO_2 kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, 83: 1318–1325.

MacDougall, J.D., Redden, W.G., Layton, C.R., & Dempsey, J.A. (1974). Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 36, 538-544.

MacKay, B.R., Paterson, D.H., Kowalchuk, J.M. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O_2 uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*. 107, 128 – 138.

McArdle, F.; Katch, F.I.; Katch, V.L.; *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. Quarta edição, 1998.

McLaughlin, J.E., Howley, E.T., Bassett, D.R., Jr., Thompson, D.L., Fitzhugh, E.C.. (2010). Test of the classical model for predicting endurance running performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 42 (5):991-7.

McCreary, C.R., Chilibeck, P.D., Marsh, G.D., Paterson, D.H., Cunningham, D.A., & Thompson, R.T. (1996). Kinetics of pulmonary oxygen uptake and muscle phosphates during moderate intensity calf exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81, 1331—1338.

Maldonado-Martin, S., Mujika, I., & Padilla, S. (2004) Physiological variables to use in the gender comparison in highly trained runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44, 8-14.

Mallory, L.A., Scheuermann, B., Hoelting, B.D., McAllister, R.M., & Barstow, T.J. (2002). Influence of peak VO_2 and muscle fiber type on the efficiency of moderate exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 1279-1287.

Martin, D.E., & Coe, P.N. (1997). *Better Training for Distance Runners*. Human Kinetics, Champaign, IL.

Maughan, R.J., & Leiper, J.B. (1983). Aerobic capacity and fractional utilization of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52:80-7.

Medbo, J.I., Mohn, A.C.; Tabata, I., Bahr, R.; Vaage, O., Sejersted, O.M (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O_2 deficit. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v. 64, n. 1, p. 50-60.

Medbo, J., & Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 to 3 minute of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology* 75, 1654-1660.

Messonier, L., Freund, H., Denis, C., Dormois, D., Dufour, A.B., Lacour, J.R. (2002). Times to exhaustion at $\text{VO}_{2\text{max}}$ is related to lactate exchange and removal abilities. *International Journal of Sports Medicine*, 23, p. 433-438.

Meyer, T., Lucia A., Earnest C.P., & Kindermann. W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application *International Journal of Sports Medicine*, 26(Suppl 1): S38 – 48.

Millet, G.P., Candau, R., Fattori, P., Bignet, F., Varray, A. (2003). VO₂ responses to different intermittent runs at velocity associated with VO_{2max}. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(3):410-23.

Morgan, D.W., Baldini, F.D., Martin, P.E., Kohrt, W.M. (1989). Ten kilometer performance and predicted velocity at VO_{2max} among well-trained male runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(1):78-83.

Morton, H.R., & Billat, L.V. (2000). Maximal endurance time at VO_{2max}. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (8), pp. 1496 – 1504.

Murias, J.M., Kowalchuk, J.M., & Paterson, D.H. (2010) Time course and mechanisms of adaptations in cardiorespiratory fitness with endurance training in older and young men. *Journal of Applied Physiology*, 108, 621-627.

Newsholme, E., Blomstrand, E., McAndrew, & Parry- Billings, M (1992). *Biochemical causes of fatigue and overtraining*. In: Shephard, R. & Astrand, P. (eds), *Endurance in sport*: 351 – 364. London: Blackwell.

Nielsen, O.B., de Paoli, F. & Overgaard, K. (2001). Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 536, 161 – 166.

Noakes, T.D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20: 319-330.

Noakes, T.D., Myburgh, K.H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. *Journal of Sport Sciences*, 8 (1): 35 – 45.

Noakes, T., (2003). *Lore of Running. Discover the Science and Spirit of Running*, 4th edition. Human Kinetics, Champaign, IL.

Norris, S.R., Petersen, S.R. (1998). Effect of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 16 (8):733-8.

Ozyener, F., Rossiter, H.B., Ward, S.A., & Whipp, B.J. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *The Journal of Physiology*, 533, 891-902.

Paterson, D., & Whipp, B. (1991). Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *Journal of Physiology*, 443: 575-586.

Paterson, M., Schmidt, P., Gamboa, J.D., Elrick, R., Martin, D.E., Mora, A.H., Piqueras, M.P., Vittori, C. (1996). Speed in the 800 metre. *New Studies in Athletics-Round Table 32*, 11(4): 7–22.

Peronnet, F., Thibault, G., & Cousineau, D. (1991). A theoretical analysis of the effect of altitude on running performance. *Journal of Applied Physiology*, 70, 399 – 404.

Petot H., Meilland R., Le Moyec L., Mille – Hamard L., Billat V.L. (2012). A new incremental test for VO₂max accurate measurement by increasing VO₂max plateau duration, allowing the investigation of its limiting factors. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (6), pp 2267-2276.

Pires, F.O., Lima-Silva, A.E., Lotufo, R.F., Oliveira, F.R. (2002). Limiares ventilatórios: diferenças e associações entre métodos de identificação. In: IV Congresso Sul – Brasileiro de Medicina do Esporte, 4. Blumenau, Santa Catarina. Anais do IV Congresso Sul – Brasileiro de Medicina do Esporte. Blumenau: Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte, p.13.

Philips, S., Green, H., Doust, J., & Jones, A. (1995). Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of sub maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 79, 1914 – 1920.

Philip, A., Macdonald, A.L., Watt, P.W. (2005). Lactate a signal coordinating cell and systemic function. *The Journal of Experimental Biology*, 24: 4561-75.

Poole, D.C., Ward, A.S., Gardner, G.W., Whipp, B.J. (1988). Metabolic and respiratory profile of upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31: 1265-1279.

Poole, D.C., Ward, S.A., & Whipp, B.J. (1990). The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59, 421-429.

Poole, D.C., Schaffartzik, W., Knight, D.R., Derion, T., Kennedy, B., Guy, H.J., Prediletto, R., & Wagner, P.D. (1991). Contribution of exercising legs to the slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1245-1260.

Poole, D.C., & Jones, A.M. (2005). Towards an understanding of the mechanistic bases of VO_2 kinetics. In: Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds). *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge, London and New York, pp 294 – 328

Poole, D.C., Kindig, C.A., & Behnke, B.J. (2005). VO_2 kinetics in different disease states. In Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds) *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*. Routledge, London, pp. 353-372.

Powers, S.K., Dodd S., Garner R. (1984). Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52 (2), 173-177.

Powers, S.K., Dodd, S., Beadle, R.E. (1985). Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in $\text{VO}_{2\text{max}}$. *European Journal of Applied Physiology*, 54 (3), 306-8.

Powers, S.K., & Howley, E.T. (2000). *Fisiologia do Exercício: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho*. Editora Manole, 3ª Edição; Barueri, SP.

Powers, S.K., & Howley, E.T. (2004). *Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance*. New York: McGraw-Hill.

Pringle, J.S., & Jones, A.M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 214-226.

Pringle, J.S., Doust, J.H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I.T., Sakkas, G.K., & Jones, A.M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "submaximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 289-300.

Ramsbottom, R., Nute, M.L.G., & Williams, C. (1987). Determinants of 5 Kilometre Performance in Active Men and Women. *British Journal of Sports Medicine*, 21 (2): 9-13.

Ramsbottom, R., Nevill, A.M., Nevill, M.E., Newport S., Williams C. (1994). Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. *Journal of Sports Sciences*, 12(5):447-53.

Reis J., Alves F., Bruno P., Vleck V., & Millet G. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1689-97.

Renaux J.C., Petit B., Billat V., & Koralsztein J.P. (2000). Calculation of times to exhaustion at 100 and 120% maximal aerobic speed. *Ergonomics*, V.43, n.2, pp. 160-166.

Rossiter, H.B; Ward, S.A.; Kowalchuck, J.M.; Howe, F.A.; Griffiths, J.R.; Whipp, B.J.(2002). Dynamic asymmetry of phosphocreatine concentration and O₂ uptake between the on- and offtransients of moderate- and high-intensity exercise in humans. *Journal of Physiology*, London, n. 15, n. 541.3, p. 991-1002,

Roston, W.L.W., Davis, J.A. Cunningham, D.A. Effros, R.M. Wasserman, K. (1987). Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *The American Review of Respiratory Disease*, 135, 1080-1084.

Sale, D.G., Jacobs, L., MacDougall, J.D., Garner, S. (1990) Comparison of two regiments of concurrent strenght and endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22: 348 – 356.

Saltin, B., Strange, S. (1992). Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (1):30-7.

Saltin, B., Kim, C.K., Terrados, N., Larsen, H., Svendenhag, J., Rolf, C.J. (1995a). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 222 – 230.

Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C.K., Svedenhag, J., & Rolf, C.J. (1995b). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 5, 209-221.

Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., Hawley, J.A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34 (7), 465-85.

Silva, L.G.M., Pacheco, M.E., Campbell, C.S.G., Baldissera, V., Simões, H.B. (2005). Comparação entre protocolos diretos e indiretos de avaliação da aptidão aeróbia em indivíduos fisicamente ativos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*; 11 (4):219-223.

Schmidt, P., Gamboa, J.D., Elrick, R., Martin, D.E., Mora, A.H., Paterson, M., Piqueras, M.P., Vittori, C. (1996). Speed in the 800 metre. *New Studies in Athletics-Round Table 32*, 11(4): 7–22.

Smith, T.P., Dilger, J.; Davoren, B. (2000). Optimising high intensity treadmill training using $\dot{V}O_{2\max}$ and T_{\max} . *Pre-Olympic Congress*, Brisbane, Sep 7-13.

Spencer, M.R., Gastin, P.B., & Payne, W.R. (1996). Energy system contribution during 400 to 1500 meters running. *New Studies Athl.* 11 (4):59 – 65.

Spencer, M.R., & Gastin, P.B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; 33(1):157-62.

Skinner, J.S.; McLellan, T.M. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly Exercise and Sport*, 51 (1); p. 234-248.

Weineck, J. (1991). *Biologia do Esporte*. Editora Manole, São Paulo.

Weineck, J. (1999). *Treinamento Ideal*. Editora Manole, 9ª edição, São Paulo.

Wasserman, K., Van Kessel, A.L., Burton, G.G. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal of Applied Physiology*, Bethesda, v.22, n.1, p.71-85.

Wassermann, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N., & Beaver, W.L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise, *Journal of Applied Physiology*, 35: 236-239.

Wasserman, K., Whipp, B.J., Castagna, J. (1974). Cardiodynamic hyperpnea: Hyperpnea secondary to cardiac output increase. *Journal of Applied Physiology*, 36, 457–464.

Wasserman, K., & Whipp, B.J. (1975). State of the art—exercise physiology in health and disease. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 112, 219–249.

Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Casaburi, R., Whipp, B.J., (1999). Principles of Exercise Testing and Interpretation, Including Pathophysiology and Clinical Applications, third ed. Lippincott Williams and Wilkins.

Westerblad, H., Allen, D.G., Lannergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiological Science*, 17:17-21.

Weston, A.R., Mbambo, Z., Myburgh, K.H. (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6):1130-4.

Weynand, P.G., Cureton, K.J., Conley, D.S., Sloniger, M.A., Liu, Y.L. (1994). Peak oxygen deficit predicts sprint and middle distance track performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 1174-1180.

Weyand, P.G., Lee, C.S., Martinez-Ruiz, R., Bundle, M.W., Bellizzi, M.J., Wright, S.J. (1999). High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. *Journal of Applied Physiology*, 6:2059-64.

Wilkerson, D.P., Koppo, K., Barstow, T.J., Jones, A.M. (2004). Effect of prior multiple-sprint exercise on pulmonary O₂ uptake kinetics following the onset of perimaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 97(4):1227-1236.

Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*. 3rd Edition, USA: Human Kinetics.

Wilmore, J.H., Costill, D.L., & Kennedy, W.L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.

Withers, R.T., Sherman, W.M., & Miller, J.M. (1981). Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *European Journal of Applied Physiology*, 47 (1): 93-104.

Withers, R., Gore, C., Gass, G., & Hahn A. (2000). Determination of maximal oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{max}}$) or maximal aerobic power. In: C. J. Gore. *Physiological tests for elite athletes*. Human Kinetics, Sidney.

Whipp, B.J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. *Journal of Applied Physiology*, 33, 351 – 356.

Whipp, B.J., & Mahler, M. (1980). Dynamics of gas exchange during exercise. In *Pulmonary Gas Exchange*, vol. II, eds. West JB, pp.33–96. Academic Press, New York.

Whipp, B.J., Ward, S.A., Lamarra, N., Davis, J.A., & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 52, 1506-1513.

Whipp, B.J., & Wasserman, K. (1986). Effect of anaerobiosis on the kinetics of O_2 uptake during exercise. *Federation Proceedings*, 45, 2942-2947.

Whipp, B.J. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation* 76 (suppl. VI), 18 – 28.

Whipp, B.J., Ward, S.A. (1992). Pulmonary gas exchange dynamics and the tolerance to muscular exercise: effects of fitness and training. *Ann Physiol Anthropol*, 11(3):207-14.

Whipp, B.J. (1994). The slow component of O_2 uptake kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(11):1319-26.

Whipp, B.J., Lamarra, N., Ward, S.A. (1995). Obligatory anaerobiosis resulting from oxygen uptake-to-blood flow ratio dispersion in skeletal muscle: a model. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(2-3):147-52.

Whipp, B.J., & Ozyener F. (1998). The kinetics of exertional oxygen uptake: assumptions and inferences. *Medicina dello Sport*, 51:139 – 149.

Whipp, B.J., Rossiter, H.B., Ward, S.A., Avery, D., Doyle, V.L., Howe, F.A., & Griffiths, J.R. (1999). Simultaneous determination of muscle 31 phosphate and O₂ uptake kinetics during whole-body NMR spectroscopy. *Journal of Applied Physiology* 86, 742 – 747.

Whipp, B.J., Rossiter, H.B., & Ward, S.A. (2002). Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? *Biochemical Society Transactions*, 30, 237-247.

Whipp, B.J., & Rossiter, H.B. (2005). The kinetics of oxygen uptake: physiological inferences from the parameters. In: Jones, A.M. and Poole, D.C. (eds): *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise, and Medicine*, pp. 64 – 94. Routledge, London.

Whipp, B.J., Ward, S.A., Rossiter, H.B. (2005). Pulmonary O₂ uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9):1574-85.

Womack, C.J., Davis, S.E., Blumer, J.L., Barrett, E., Weltman, A.L., & Gaesser, G.A. (1995). Slow component of O₂ uptake during heavy exercise: adaptations to endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 79, 838–845.

Xu, F., & Rhodes, E. C. (1999). Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Medicine*, Auckland, v. 27, n. 5, p. 313-327.

Zoladz, J.A., Gladden, L.B., Hogan, M.C., Nieckarz, Z., Grassi, B. (2008). Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the slow component of VO₂ kinetics. *Journal of Applied Physiology*. 105(2):575-80.